

20.924 / H104

TUGAS AKHIR
KS 1701



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

**OPTIMASI PELETAKAN SCHOTTEL TYPE SRP 550
FP TERHADAP MANEUVERABILITY KAPAL TUG
BOAT 2x1200 HP JAYAKARTA I**



R55P
623.823 2
Yus
0-1
2004

Oleh :
YUSUF
NRP. 4299 100 058

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	11-8-2004
Terima Dasi	H
No. Agenda Prp.	220967

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004**

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI PELETAKAN SCHOTTEL TYPE SRP 550 FP TERHADAP MANEUVERABILITY KAPAL TUG BOAT 2x1200 HP JAYAKARTA I

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk
Meraih Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. AGOES SANTOSO, MSc, Mphil
NIP. 132 133 980


Ir. H. SOEMARTOJO
NIP. 130 355 300

SURABAYA
JULI, 2004

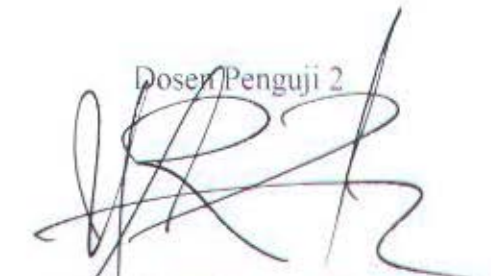
Tugas Akhir ini telah diujikan pada Presentasi Akhir (P3) Tugas Akhir
periode semester genap Tahun Ajaran 2003/2004 tanggal 22 Juli 2004
Mengetahui Dosen Penguji Presentasi Akhir P3 :

Dosen Penguji 1




Ir. H. Soemartojo WA
NIP. 130 355 300

Dosen Penguji 2



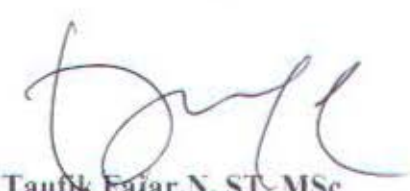
Ir. Surjo Widodo Adji, MSc
NIP. 131 879 390

Dosen Penguji 3



Ir. Agoes Santoso, MSc, Mphil
NIP. 131 933 295

Dosen Penguji 4



Taufik Fajar, N, ST, MSc
NIP. 132 262 157



**SURAT KEPUTUSAN Pengerjaan Tugas Akhir
(KS 1701)**

Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS, maka perlu diterbitkan Surat Keputusan Pengerjaan Tugas Akhir yang memberikan tugas kepada mahasiswa tersebut dibawah ini untuk mengerjakan Tugas sesuai judul dan lingkup bahasan yang telah ditentukan.

Nama Mahasiswa : YUSUF
NRP : 4299 100 058
Dosen Pembimbing : 1. Ir. AGOES SANTOSO, MPhil
2. Ir. H. SOEMARTOJO
Tanggal diberikan tugas :
Tanggal diselesaikan tugas :
Judul Tugas Akhir : **OPTIMASI PELETAKAN SCHOTTEL TYPE SRP
550 FP TERHADAP MANEUVERABILITY
KAPAL TUG BOAT 2x1200 HP JAYAKARTA I**

Surabaya,
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan-ITS


Ir. Suro W. Adji, MSc
NIP. 131 879 390

Surabaya,
Yang menerima tugas:

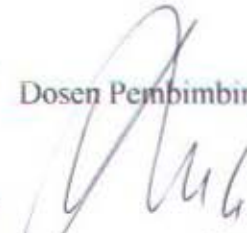
Mahasiswa


YUSUF
NRP. 4299 100 058

Dosen Pembimbing I


Ir. AGOES SANTOSO, MPhil
NIP. 132 133 980

Dosen Pembimbing II


Ir. H. SOEMARTOJO WA
NIP. 130 355 300

LEMBAR KEMAJUAN Pengerjaan Tugas Akhir

NAMA : **YUSUF**
 NRP : **4299100058**
 JUDUL TUGAS AKHIR : **OPTIMASI PELETAKAN SCHOTTEL TYPE SRP TERHADAP MANOUVERABILITY PADA KAPAL TUG BOAT 2 x 1200 HP JAYAKARTA I**
 DOSEN PEMBIMBING : 1. Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil
 2. Ir. H. Soemartojo WA

NO	TANGGAL	KEGIATAN	RENCANA ASISTENSI BERIKUTNYA	PARAF
1	1/4 2009	Asistensi metodeologi		
2	6/4 2009	Asistensi metodeologi ulang		
3	12/4 2009	Pengumpulan data		
4	15/4 04.	Konven		
5	6/5 04.	Tug. metode optimasi		
6	6/5/04	Manouverability		
7	24/06/04	Perhitungan titik berat (LCG)		
8		Perhitungan titik Apung (LCB)		
9		Peletakan schottel thd Surging		
10		Peletakan schottel thd Heaving		
11	25/6 04	Konst		
12	17/7 04	TBK		
13				
14				
15				

catatan (diisi oleh dosen pembimbing)

1. Tugas Akhir telah : layak / tidak layak (*) untuk diujikan (*) = coret yang tidak perlu
2. Catatan lain yang dianggap perlu : (bila diperlukan bisa menggunakan halaman kosong dibaliknya)

ABSTRACT

In maritime environment, Tug Boat had an Important Function namely to make The Travelling of Ships in Harbour area become more fluent. The most of big vessel is uncompleted by Bow and Stern Thruster will need Tug Boat service when It needs to get closer to the harbour. The Tug Boat functions are not only as Guide Ship but also as Fire Fighting Ship when there is a dangerous fire in harbour area.

Because of how important of Tug Boat function in harbour area, It will make Tug Boat must have The Best Maneuverability especially when It is pulling a Ship to get closer to harbour. One of The important factor that influence Tug Boat maneuverability is **The Schottel Placing**. The Schottel has two main functions namely as Thruster and Rudder, so if we change The Schottel Position, automatically It will influence Tug Boat Maneuverability, It can be batter or worse.

In This Final Project will discuss about The Influence Of Schottel Placing to Tug Boat maneuverability and then The last result is choosing The Best Schottel Placing based on The Best Maneuverability and also Stability.

ABSTRAK

Dalam dunia kemaritiman, peranan Tug Boat cukup vital dalam menunjang kelancaran arus lalu lintas kapal – kapal besar. Kapal – kapal besar yang tidak dilengkapi Bow & Stern Thruster untuk merapat ke dermaga akan membutuhkan jasa Tug Boat untuk membantu merapat. Disamping sebagai kapal Tunda, Tug Boat juga berfungsi sebagai kapal pandu & kapal pemadam kebakaran jika sewaktu – waktu terjadi kebakaran didaerah dermaga.

Mengingat pentingnya peranan Tug Boat khususnya didaerah dermaga maka diperlukan Tug Boat dengan kemampuan Maneuver yang handal, terutama pada saat menunda kapal. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi kemampuan Maneuver Tug Boat adalah dari segi peletakan Thrusternya. Thruster yang digunakan berupa Kort nozzle, yaitu Propeller dalam tabung dimana fungsinya selain sebagai pendorong juga sebagai kemudi sehingga peletakannya pada body Tug Boat akan cukup berpengaruh pada kemampuan olah gerakannya.

Dalam Tugas Akhir ini akan diulas tentang pengaruh dari perbedaan peletakan Thruster atau Schottel terhadap Maneuverability Tug Boat, sehingga nantinya akan dipilih peletakan Schottel yang paling optimal yang menghasilkan kemampuan operasional Tug Boat yang optimal pula ditinjau dari beberapa hal yaitu dari segi Maneuverability dan Stabilitas.



KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah Penulis panjatkan hanya kepada-Mu ya Allah SWT atas segala Rahmat, Nikmat & Karunianya. Hanya dengan keridhoanNya Tugas Akhir ini bisa di selesaikan dengan baik. Penulis sadar masih banyak kekurangan yang perlu diperbaiki dalam Tugas Akhir ini..Tak lupa semoga Shalawat & Salam selalu tercurah dan terlimpahkan kepada Junjungan Kami Baginda Rasul Nabi Muhammad SAW, yang telah menjadi Nur bagi kehidupan seluruh Umat manusia di dunia & Tauladan sebaik – baik umat. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan limpahan rahmat & kemuliaan setinggi – tingginya atas Beliau,Amin.

Dalam Tugas Akhir ini, Penulis membahas masalah Optimasi Peletakan Schottel Type SRP 550 FP terhadap Maneuverability Tug Boat 2 x 1200 HP Jayakarta I yang dibangun di PT. PAL Surabaya tahun 2004 ini. Tujuan pokok dari Tugas Akhir ini adalah mencari Peletakan Schottel yang paling optimal ditinjau dari segi Maneuverability & Stability.

Penulis berharap bahwa Tugas Akhir ini nantinya sedikit banyak akan bermanfaat bagi Pembaca pada khususnya & bagi Perkembangan Teknologi Kemaritiman pada umumnya. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kemudahan kepada kita semua dalam hal menuntut ilmu serta mengamalkannya di Jalan Allah SWT demi kemaslahatan umat manusia di dunia. Amin! Amin! Ya Robbal Alamin.

Surabaya, 22 Juli 2004

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH:

ASSALAMU'ALAIKUM WR.WB

1. Puji syukur alhamdulillah aku panjatkan atas segala rahmad dan karunia yang telah di berikan Allah SWT karena hanya dengan pertolonganNya Tugas Akhir ini dapat selesai dengan hasil baik.
2. Shalawat dan salam semoga senantiasa terlimpahkan kepada Junjungan kita Baginda Rosul Nabiyyullah Muhammad SAW atas segala Sunnah dan Haditsnya yang telah menjadi Nur bagi kehidupan umat manusia di dunia, semoga Syafaat Beliau akan senantiasa melindungi kita semua di hari Perhitungan nanti.
3. Untuk Almarhum Nenekku, terima kasih banyak atas segala jerih payahmu selama ini kepadaku. Engkau adalah orang terbaik yang pernah kumiliki di dunia ini. Maafkan segala kesalahanku selama ini kepadamu ,Nek. Doaku akan selalu bersamamu, semoga Engkau bahagia di sana bersama Rosullullah Muhammad SAW beserta orang-orang Shaleh yang di muliakan Allah SWT ,Amin. *SEMANGATMU AKAN TERUS MENDAMPINGIKU SELAMA AKU HIDUP. SEMOGA HIDUPKU AKAN SENANTIASA BEGUNA KHUSUSNYA BAGI ORANG-ORANG DI SEKITARKU DIMANAPUN AKU BERADA, NEKI I LOVE YOU SO MUCH MY LOVELY GRAND MOTHER!!!!!!!!!!*
4. Untuk Almarhum Kakekku, Maafkan Aku karena belum sempat membuatmu bahagia. Aku berjanji tidak akan pernah menyia-nyiakan apa yang telah Engkau berikan dan mengecewakanmu selama Aku hidup di dunia. Doaku akan senantiasa selalu terlimpahkan untukmu, kek. Semoga Engkau selalu bahagia di sana bersama Nenek. *YOU WILL ALWAYS BE MY SPIRIT IN THIS LIFE!*
5. Untuk Ibuku, maafkan Aku kalo selama ini masih belum bisa membuatmu bahagia. Terima kasih banyak atas segala jerih payahmu selama ini, Bu. Ampuni Aku atas segala dosa yang telah kuperbuat kepadamu selama ini, baik sengaja ataupun tidak. Doakan Aku agar bisa menjadi anak yang Sholeh dan selalu

berbakti kepadamu.Doaku akan selalu tercurahkan kepadamu,Bu.Semoga Allah SWT akan selalu melidungimu,menyayangimu dan memberimu yang terbaik.*YOU ARE MY BEST MOTHER IN MY LIFE.I REALLY LOVE YOU ,MOM!!!!!!!!!!!!!!*

6. Untuk Bapak,Terima kasih telah menjadi BAPAKKU.Maaf kalo selama ini Aku jarang komunikasi denganmu karena kita sudah beda Back Ground pemikiran dari awal,tapi biar bagaimanapun Aku ucapkan Terima Kasih atas Sifat Keras Kepala dan Diplomatifi yang telah engkau turunkan kepadaku karena dalam beberapa hal sifat-sifat itu cukup sering terpakai.
7. Buat keluargaku di Rumah,Mbakku Sri, Adik-adikku;Rom,Syaiful dan Rudi,Keponakanku ;Ida dan Farid!*TETEP SEMANGAT KALIAN! INGAT HIDUP INI ADALAH PERJUANGAN JADI BUAT HIDUP KALIAN BERGUNA DIMANAPUN KALIAN BERADA KARENA ITULAH HAKEKAT HIDUP MANUSIA YANG SEBENARNYA.DO`AKU AKAN SELALU BERSAMA KALIAN!AKU BANGGA PUNYA KALIAN!IAKU JANJI AKAN BANTU KALIAN SEMAKSIMAL MUNGKINI*
8. Terima kasih buat Pak Agoes santoso, MSc,MPhil selaku dosen pembimbing I
9. Terima kasih juga yang sebesar-besarnya buat My Great Lecturer Pak Ir.Soemartojo selaku Dosen pembimbing II atas segala Nasehat dan masukannya.Bapak memang mahasiswa sejati yang benar-benar tahu keinginan mahasiswa.*PERTAHANKAN TERUS ,PAK!*
10. Big Thanks juga buat Ir.Surjo Widodo Adji, MSc atas segala masukannya untuk Tugas Akhir ini,masakan Bapak sangat berguna dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
11. Buat Ir.Hari Prastowo, MSc,Terima kasih banyak buat Bapak yang telah repot-repot membantu Penyelesaian Tugas Akhir ini.Pak Hari,andalah yang sumber inspirasi semangat saya pada awal pengerjaan Tugas Akhir ini
12. Buat Adikku Riono Kiki'01,Mas ora iso ngomong opo-opo,Kik!Yang jelas matur suwun banget atas segala jerih payahmu yang sudah bekerja keras membantu penyelesaian Tugas Akhirku ini.Kamu punya bakat yang jarang dimiliki orang-orang pada umumnya, le.*TERUS KEMBANGKAN BAKATMU*

ben ndang cepet rabi,hehehehehehehehe!!!!(Pas ngetik iki Aku gak turu blas,Ris)!!!

19. Buat Vivian'99 (Laut),Thanks banget atas masukanmu tentang Metode Optimasi yang kita bahas tempo hari.Gimana proyek kita???Harus jalan terus nich buat tambahan biaya wisuda,Huahahahahahahahahaha!!!
20. Buat Temenku sing kalem dewe I Made Aryawan'99.makasih banyak atas bantuanmu selama ini,Cruuuut!Ndang di garap PKM II-mu ben ndang cepet lulus,OK!Maaf ya,De kalo aku lulus duluan,Don't worry aku nggak bakal pernah ngeluapain elo sebagai sahabat terbaik gue.*YOU ARE MY INSPIRATION. AKU BANGGA PUNYA TEMEN KAMU,FRIEND!*
21. Buat Taufik'99,ndang digarap RU-mu boy,biar cepet Lulus dan cepet nikah.
22. Buat rekan-rekan Angkatan'99,jaga terus kekompakan kita!! Aku berdo'a agar kalian cepet lulus dan segera dapat pekerjaan yang mantap.TETAP SEMANGAT.OK!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
23. Buat Marno'99,Thanks banget buat kontribusimu di angkatan 99,Aku bangga punya Komting seperti kamu.Pesenku,Ojok bisnis terus rek,Kuliahmu di seriusi ben ndang cepet lulus,ok!Teruslah berdakwah dimanapun kamu berada ,my friend!!!!Allahu Akbar!
24. Buat Adik-adikku angkatan'99 ke bawah,ayo tunjukkan semangat kalian buat memajukan jurusan kita,Jangan hanya mau menjadi penonton kemajuan jurusan lain,Dek!!!!Geliatkan kembali kegiatan-kegiatan HIMASISKAL yang membawa nama baik jurusan kita.Khusus buat Angkatan 2003 Siskal,mana kontribusi kalian bagi Himpunan kita ,Dek?? Ayo adik-adikku angkatan2003,Tunjukkan semangat dan kontribusimu pada HIMASISKAL.Tunjukkan eksisternsi kalian sebagai salah satu pilar penting dalam jurusan kita,OK!!!!!!!!!!!!VIVAT SISKAAAAAAAAAAAAAAL!!!
25. Bagi rekan-rekan Siskal yang tak tercantum namanya dalam ucapan terima kasih ini bukan berarti aku melupakan kalian tetapi mengingat keterbatasan halaman aja sehingga tidak memungkinkan untuk di sebutkan satu persatu,OK!!!!.Thanks banget atas supportnya selama ini.

WASSALAMUALAIKUM WR.WB

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini kupersembahkan secara khusus untuk Almarhumah Nenekku, Almarhum Kakekku & Ibuku Tercinta. Kalian adalah orang – orang yang paling berharga dalam hidupku. Insya Allah aku akan perjuangkan apa yang menjadi impian kalian. *TERIMA KASIH YANG TAK TERHINGGA ATAS SEGALA DO'A DAN DUKUNGAN SERTA KERJA KERAS KALIAN SELAMA INI UNTUKKU ,DOAKAN AKU AGAR SELALU MENJADI ORANG YANG BERGUNA DAN SENANTIASA MENEBAR KEBAIKAN DIMANAPUN BUMI KUPLIJAK,AMIN YA ROBBAL ALAMIN ! YOU ARE THE BEST I EVER HAD; GRAND MA,GRAND PA AND MY LOVELY MOM.I HOPE ALLAH SWT WILL ALWAYS BLESS YOU.*

MOTTO & KATA – KATA MUTIARA

- 1. Tebarkanlah Kebaikan Bagi Orang – Orang Di sekitarmu Dengan Ikhlas & Tanpa Kenal Pamrih, Niscaya Hidupmu Akan Lebih Berarti Dan Penuh Dengan Berkah, Rahmat, & Kebaikan Dari Allah SWT.*
- 2. Demi Masa, Sesungguhnya Manusia Hidup Dalam Kerugian Melainkan Yang Beriman & Yang Beramal Sholeh.*
- 3. Sesungguhnya Dalam Diri Rosulullah Muhammad SAW Itu Adalah Tauladan Yang Baik.*
- 4. Jagalah Hati ! Jangan Pernah Kau Nodai !
Jagalah Hati ! Lentera Hidup Ini ! Karena
Sepandai Apapun Manusia Berdusta, Hati Tidak Akan Pernah Bisa Diboongi !*
- 5. Ilmu Adalah Pelita Yang Menerangi Kegelapan, Dari Ilmu Datanglah Amalan, Dari Amalan Lahirlah Kasih Sayang, Saling Membantu & Bekerja Sama.*
- 6. Tersenyumlah! Karena Senyum Adalah Sedekah Yang Paling Mudah.*

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Lembar Pengesahan	
Abstract	iii
Abstrak	iv
Kata Pengantar	v
Ucapan Terima Kasih	vi
Halaman Persembahan	x
Lembar Motto dan Kata-kata Mutiara	xi
Daftar Isi	xii
Daftar Gambar	xviii
Daftar Tabel	xxi
Daftar Grafik	xxii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I – 1
1.2 Perumusan Masalah	I – 4
1.3 Batasan Masalah	I – 5
1.4 Tujuan Penulisan	I – 6
1.5 Manfaat Penulisan	I – 7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Model Matematis	II – 1
2.1.1 Pendahuluan	II – 1

2.1.2	Gerakan Benda	II – 2
2.1.3	Gaya dan Momen yang bekerja pada benda.....	II – 6
2.1.3.1	Ciri Kapal	II – 8
2.1.3.2	Ciri Gerakan	II – 9
2.1.3.3	Ciri Air	II – 10
2.1.3.4	Satuan Ukuran.....	II – 11
2.1.3.5	Model Tanpa Dimensi.....	II – 12
2.1.3.6	Gaya.....	II – 12
2.1.3.7	Rasio Tanpa Dimensi	II – 13
2.1.4	Potensial Kecepatan Dan Fungsi Aliran	II – 16
2.1.5	Aliran Tak Berotasi	II – 19
2.1.6	Aliran Pusaran	II – 22
2.1.7	Sumber Dan Sink.....	II – 26
2.1.8	Aliran Berbentuk Kapal.....	II – 31
2.1.8.1	Sumber Dan Sink Dua Dimensi	II – 31
2.1.8.2	Sumber Dan Sink Tiga Dimensi.....	II – 36
2.1.8.3	Transformasi Konformal	II – 38
2.1.8.4	Persamaan Laplace.....	II – 41
2.1.9	Tingkat Perkembangan.....	II – 46
2.2	Tahanan Kapal.....	II – 46
2.2.1	Pembagian Tahanan Wahana Laut.....	II – 47
2.2.2	Dasar Pembagian Tahanan Wahana Laut.....	II – 48
2.2.3	Hukum-Hukum Kesamaan.....	II – 51



2.2.4 Tahanan Gesek	II – 54
2.2.4.1 Aliran Laminer Dan Turbulen	II – 55
2.2.4.2 Lapisan Batas	II – 56
2.2.4.3 Pemisahan	II – 57
2.2.4.4 Koefisien Tahanan Gesek	II – 59
2.3 Interaksi Kapal – Mesin – Baling-baling	II – 59
2.3.1 Bentuk Badan Kapal	II – 60
2.3.2 Baling – baling Di Dalam Tabung (Kort Nozzle)	II – 62
2.3.3 Mesin Penggerak	II – 65
2.3.4 Interaksi Kapal Dengan Baling-baling	II – 67
2.3.5 Pengaruh Kondisi Kapal	II – 67
2.3.6 Pengaruh Banyaknya Daun Baling-baling	II – 69
2.3.7 Percepatan Dan Perlambatan	
2.4 Metode Optimisasi	II – 73
2.4.1 Metode Pelaksanaan	II – 73
2.4.2 Keunggulan Dan Kelemahan	II – 74

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum	III – 1
3.2 Data Uji	III – 2
3.2.1 Principal Dimension Of Tug Boat 2x100 HP Jayakarta I	III – 2
3.2.2 Main Propulsion Particular	III – 3
3.3 Tahap-tahap Persiapan Perhitungan	III – 4
3.3.1 Pengumpulan Data-data Yang Diperlukan	III – 4

3.3.2	Observasi Di Lapangan	III – 5
3.3.3	Studi Literatur.....	III – 6
3.3.4	Pembatasan Masalah	III – 7
3.3.5	Analisa Dan Pembahasan Data.....	III – 8
3.3.6	Penentuan Akhir Peletakan Schottel Dari Beberapa Uji Perletak an Schottel berdasarkan Hasil Analisa Dan Pembahasan	III – 9
3.3.7	Kesimpulan Dan Rekomendasi	III – 9

BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1	Analisa Data	IV – 1
4.1.1	Peletakan Schottel Terhadap Stabilitas Dan Titik Berat.....	IV - 1
4.1.1.1	Frame 40.....	IV – 2
4.1.1.1.1	Perhitungan Momen Kopel (τ_{kop}) Antara Gaya Apung (FB) Dan Gaya Berat (G).....	IV – 4
4.1.1.1.2	Perhitungan LCG Tanpa Schottel (LCGo).....	IV – 7
4.1.1.2	Frame 36.....	IV – 8
4.1.1.2.1	Perhitungan LCG Untuk Frame 36 (LCG 36)	IV – 8
4.1.1.2.2	Perhitungan Momen Kopel (τ_{kop}) Antara Gaya Apung (FB) Dan Gaya Berat (W)	IV - 10
4.1.1.3	Frame 38.....	IV – 13
4.1.1.3.1	Perhitungan LCG Untuk Frame 38 (LCG 38)	IV – 14
4.1.1.3.2	Perhitungan Momen Kopel (τ_{kop}) Antara Gaya Apung (FB) Dan Gaya Berat (W)	IV – 17
4.1.1.4	Frame 42.....	IV – 18

4.1.1.4.1	Perhitungan LCG Untuk Frame 42 (LCG 42)	IV – 19
4.1.1.4.2	Perhitungan Momen Kopel (τ_{kop}) Antara Gaya Apung (FB) Dan Gaya Berat (W)	IV – 22
4.1.1.5	Frame 43	IV – 22
4.1.1.5.1	Perhitungan LCG Untuk Frame 43 (LCG 43)	IV – 23
4.1.1.5.2	Perhitungan Momen Kopel (τ_{kop}) Antara Gaya Apung (FB) Dan Gaya Berat (W)	IV - 27
4.1.1.6	Perhitungan Peletakan Schottel Agar Tidak Terjadi Momen Kopel (τ_{kop}) Antara Bouyancy (B) Dan Gravity (G)	IV - 27
4.1.1.6.1	Tug Boat Dengan Sudut Trim Ke Depan Yang Maksimal	IV – 35
4.1.1.6.1.1	Perhitungan Jarak Schottel Baru (X Baru) Dengan Frame 40 sebagai Acuan Untuk mencari Sudut Trim Ke Depan Yang Maksimal.....	IV – 37
4.1.1.6.2	Tug Boat Dengan Sudut Trim Maksimal Ke Buritan.....	IV – 44
4.1.1.6.2.1	Perhitungan Jarak Schottel Baru (X Baru) Dengan Frame 40 Sebagai Acuan Untuk Mencari Sudut Trim Maksimal Ke Belakang	IV – 45
4.1.1.6.3	Penentuan Letak Schottel Dimana Posisi Bouyancy (B) Dan Gravity (G) Terletak Dalam Satu Garis Lurus Pada Pandangan Samping..	IV – 47
4.1.1.7	Pemilihan Letak Schottel Yang Paling Optimal Antara Frame 36 , 38 , 40 , 42 Dan 43	IV – 49
4.1.1.7.1	Berdasarkan Jarak Antara (B) Dan (G) Untuk Tiap-tiap Frame Dimana Schottel tersebut Di Letakkan	IV – 49
4.1.1.7.2	Berdasarkan Momen Kopel Total ($\Sigma\tau_{kop}$) Yang Dihasilkan Untuk Tiap-tiap Frame Peletakan Schottel	IV – 52

4.1.1.7.3 Berdasarkan Besarnya Sudut Trim (θ) Yang terjadi Untuk Tiap-tiap Frame Peletakan Schottel	IV – 54
4.1.2 Perhitungan Tahanan Service Tug Boat (RT)	IV – 62
4.1.3 Pengaruh Peletakan Schottel Terhadap 6 Derajat Kebebasan.....	IV – 63
4.1.3.1 Surging	IV – 63
4.1.3.1.1 Pengaruh Tahanan Tug Boat Terhadap Gerak Surging	IV – 65
4.1.3.1.2 Pengaruh Perbedaan Peletakan Schottel Terhadap Gerak Surging	IV – 66
4.1.3.1.3 Kesimpulan	IV – 67
4.1.4 Heaving	IV – 68
4.1.5 Sway	IV – 69
4.1.6 Rolling	IV – 70
4.1.7 Pitching	IV – 71
4.1.8 Yawing	IV – 74
4.1.8.1 Perhitungan Momen Kopel ($\Sigma \tau_{Kop}$) Terhadap Titik Berat (G) Dari Gerak Yawing Untuk Setiap Peletakan Schottel	IV – 76
4.2 Metode Optimisasi	IV – 78

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

V – 1

Daftar Pustaka

Lampiran

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1. Posisi Titik Berat di Frame 40 pada pandangan samping	IV - 4
Gambar 4.2. Momen Kopel antara B dan G di Frame 40	IV - 5
Gambar 4.3. Posisi B dan G di Frame 40 pada pandangan atas	IV - 6
Gambar 4.4. Insert dari Gambar 4.3	IV - 6
Gambar 4.5. Posisi B dan G di Frame 40 pada pandangan depan	IV - 6
Gambar 4.6. Insert dari Gambar 4.5	IV - 7
Gambar 4.7. Momen Kopel antara B dan G di Frame 36	IV - 11
Gambar 4.8. Posisi antara B dan G Frame 36 pada pandangan samping	IV - 11
Gambar 4.9. Posisi antara B dan G di Frame 36 pada pandangan atas	IV - 12
Gambar 4.10. Insert dari Gambar 4.9	IV - 12
Gambar 4.11. Posisi antara B dan G di Frame 36 pada pandangan depan	IV - 12
Gambar 4.12. Insert dari Gambar 4.11	IV - 13
Gambar 4.13. Momen Kopel antara B dan G di Frame 38	IV - 15
Gambar 4.14. Posisi antara B dan G Frame 38 pada pandangan samping	IV - 16
Gambar 4.15. Posisi antara B dan G di Frame 38 pada pandangan atas	IV - 16
Gambar 4.16. Insert dari Gambar 4.15	IV - 16
Gambar 4.17. Posisi antara B dan G Frame 38 pada pandangan depan	IV - 17
Gambar 4.18. Insert dari Gambar 4.17	IV - 17
Gambar 4.19. Momen Kopel antara B dan G di Frame 42	IV - 20
Gambar 4.20. Posisi antara B dan G Frame 42 pada pandangan samping	IV - 20
Gambar 4.21. Posisi antara B dan G di Frame 42 pada pandangan atas	IV - 21
Gambar 4.22. Insert dari Gambar 4.21	IV - 21
Gambar 4.23. Posisi antara B dan G Frame 42 pada pandangan depan	IV - 21
Gambar 4.24. Insert dari Gambar 4.23	IV - 22

Gambar 4.25.Momen Kopel antara B dan G di Frame 43	IV – 24
Gambar 4.26.Posisi antara B dan G Frame 43 pada pandangan samping	IV – 25
Gambar 4.27.Posisi antara B dan G di Frame 43 pada pandangan atas	IV – 25
Gambar 4.28.Insert dari Gambar 4.27	IV – 25
Gambar 4.29.Posisi antara B dan G Frame 43 pada pandangan depan	IV – 26
Gambar 4.30.Insert dari Gambar 4.29	IV – 26
Gambar 4.31.Tug Boat dengan Sudut Trim kedepan yang maksimal (θ_{maks})	IV – 27
Gambar 4.32.Resultan Gaya pada saat Tug Boat kondisi Trim bergerak maju	IV – 29
Gambar 4.33.Resultan Gaya pada saat Tug Boat kondisi Trim bergerak maju	IV – 31
Gambar 4.34.Hubungan Sudut Trim terhadap Jarak Go dan G	IV – 32
Gambar 4.35.Sudut Trim maksimal Tug Boat dimana Sarat Air tepat menyentuh Maindeck Haluan	IV – 33
Gambar 4.36.Hubungan Sudut Trim kedepan terhadap Jarak Go dan G dengan Frame 40 sebagai Titik Acuan	IV – 34
Gambar 4.37.Jarak Schottel baru yang menyebabkan Sudut Trim maksimal ke depan	IV – 35
Gambar 4.38.Penguraian Gaya pada Tug Boat pada saat terjadi Trim ke Buritan yang maksimal	IV – 37
Gambar 4.39.Penguraian Gaya pada Tug Boat saat terjadi Trim ke Buritan	IV – 39
Gambar 4.40.Resultan Gaya Total pada saat Tug Boat kondisi Trim dan bergerak mundur	IV – 40

Gambar 4.41. Hubungan antara Sudut Trim ke belakang terhadap Jarak Go dan G di Frame 40	IV – 41
Gambar 4.42. Sudut Trim maksimal Tug Boat dimana Sarat Air tepat menyentuh Main Deck Buritan	IV – 42
Gambar 4.43. Hubungan Sudut Trim ke belakang maksimal terhadap Jarak Go dan G dengan Frame 40 sebagai Titik Acuan	IV – 43
Gambar 4.44. Jarak Schottel baru yang menyebabkan Sudut Trim maksimal ke belakang	IV – 44
Gambar 4.45. Posisi Schottel yang menyebabkan letak B dan G segaris	IV – 46
Gambar 4.46. Besar Sudut Trim di Frame 36 pada pandangan samping	IV – 55
Gambar 4.47. Besar Momen Penegak (Statis) di Frame 36	IV – 55
Gambar 4.48. Besar Momen Penegak (Statis) di Frame 38	IV – 56
Gambar 4.49. Besar Momen Penegak (Statis) di Frame 40	IV – 57
Gambar 4.50. Besar Momen Penegak (Statis) di Frame 42	IV – 58
Gambar 4.51. Besar Momen Penegak (Statis) di Frame 43	IV – 59
Gambar 4.52. Penguraian Gaya Tug Boat pada saat gerak Surging	IV – 63
Gambar 4.53. Penguraian Gaya Tug Boat pada saat gerak Heaving	IV – 68
Gambar 4.54. Sway	IV – 69
Gambar 4.55. Rolling	IV – 70
Gambar 4.56. Penguraian Gaya Tug Boat pada saat gerak Pitching	IV – 71
Gambar 4.57. Resultan Gaya Total Tug Boat pada saat gerak Pitching	IV – 72
Gambar 4.58. Yawing	IV – 75
Gambar 4.59. Penguraian Gaya Tug Boat pada saat gerak Pitching	IV – 76
Gambar 4.60. Hubungan antara Momen Kopel THP dan RT terhadap G	IV – 76

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Interpolasi antara Displacement, LCB, VCB dan Draft	IV - 3
Tabel 4.2	Hukum Perbandingan tetap antara Draft dan Jarak Mid Ship ke AP	IV - 4
Tabel 4.3	Hubungan antara Draft Buritan dengan Ketinggian dari LWL ke Main Deck Haluan	IV - 28
Tabel 4.4	Hubungan antara Draft Buritan dengan Ketinggian dari LWL ke Main Deck Buritan	IV - 37
Tabel 4.5	Hubungan antara Jarak B dan G terhadap Jarak Titik Berat Schottel ke Mid Ship	IV - 50
Tabel 4.6	Hubungan antara LCB dan LCG di tiap-tiap Frame Uji	IV - 51
Tabel 4.7	Hubungan antara $\sum \tau_{kop}$ terhadap Jarak antara B dan G untuk tiap-tiap Frame Uji	IV - 53
Tabel 4.8	Hubungan antara $\sum \tau_{kop}$ terhadap Jarak Titik Berat Schottel dari Mid Ship untuk tiap-tiap Frame Uji	IV - 54
Tabel 4.9	Hubungan antara Jarak GoG terhadap Sudut Trim	IV - 60
Tabel 4.10	Hubungan antara Jarak Frame ke Mid Ship, Jarak G dari Mid Ship, Jarak Frame ke G dan Jarak Ujung Buritan ke G	IV - 77
Tabel 4.11	Hubungan antara Momen THP terhadap Sudut Kemudi	IV - 77
Tabel 4.12	Hubungan Momen RT terhadap Sudut Kemudi	IV - 77
Tabel 4.13	Hubungan Momen Total terhadap Sudut Kemudi	IV - 77

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1.	Grafik Nilai $\cos \theta$	IV – 31
Grafik 4.2.	Grafik Nilai $\cos \theta$	IV – 31
Grafik 4.3.	Hubungan antara Jarak Titik Berat Schottel ke Mid Ship terhadap Jarak B dan G	IV – 51
Grafik 4.4.	Hubungan antara Hubungan antara LCG terhadap LCG	IV – 51
Grafik 4.5.	Hubungan antara Momen Kopel terhadap jarak B dan G	IV – 46
Grafik 4.6.	Hubungan antara Jarak Titik Berat Schottel ke Mid Ship terhadap Momen Kopel	IV – 54
Grafik 4.7.	Hubungan antara Jarak GoG terhadap Sudut Trim untuk tiap Peletakan Schottel	IV – 61
Grafik 4.8.	Hubungan antara Momen Statis (Pengembali) terhadap Sudut Trim untuk tiap-tiap Peletakan Schottel	IV – 62
Grafik 4.9.	Hubungan antara Momen Statis (Pengembali) terhadap Jarak GoG	IV – 62
Grafik 4.10.	Hubungan antara Momen Kopel Total terhadap Sudut Kemudi	IV – 78
Grafik 4.11.	Hubungan antara Frame Uji terhadap Z_s	IV – 80
Grafik 4.12.	Hubungan antara Frame Uji terhadap Z_m	IV – 84
Grafik 4.13.	Hubungan antara Frame Uji terhadap Z_s dan Z_m	IV – 84



BAB I

PENDAHULUAN



1.1. LATAR BELAKANG

Dewasa ini dunia kemaritiman merupakan salah satu faktor penting dalam menunjang perekonomian, sebab sebagian besar transaksi perdagangan terjadi di daerah kelautan seperti kegiatan ekspor dan impor. Untuk menunjang hal tersebut di atas diperlukan berbagai macam sarana transportasi laut yang handal dan cepat dalam operasionalnya. Saat ini teknologi kemaritiman sudah berkembang sedemikian pesatnya, banyak sekali jenis-jenis sarana transportasi laut yang canggih dan cepat dalam operasinya. Mulai dari kapal-kapal besar seperti Tanker, Kargo, Semicontainer hingga kapal-kapal kecil yang super cepat seperti Jet Foil, Hover Craft, SWATH dll.

Di sisi lain, khususnya di daerah dermaga, banyak sekali lalu lintas Wahana Laut dengan berbagai macam tujuan operasional, ada kapal-kapal yang ingin merapat ada pula yang keluar dermaga. Namun tidak semua kapal dilengkapi dengan kemampuan manuver untuk merapat ke dermaga sehingga untuk mengatasinya diperlukan suatu kapal tunda yang berfungsi untuk membantu kapal-kapal yang ingin merapat ke dermaga atau sebaliknya. Kapal jenis ini dikenal dengan nama Tug Boat, keberadaannya amat diperlukan untuk memperlancar arus keluar masuk kapal-kapal di dermaga. Tug Boat disini cukup vital fungsinya yaitu selain bisa sebagai Kapal Tunda juga berfungsi sebagai

Kapal Pandu bagi kapal-kapal yang membutuhkan jasa tunda dari Tug Boat terutama pada saat kapal mengalami kerusakan di tengah laut dan berada dalam keadaan emergency sehingga perlu segera ditarik ke dermaga untuk diperbaiki agar terhindar dari kerusakan yang lebih parah dan akan menyebabkan kerugian yang seharusnya tidak perlu terjadi atau setidaknya meminimalisasi.

Dalam beroperasi biasanya diperlukan minimal 2 buah Tug Boat untuk membantu kapal-kapal yang ingin merapat atau keluar dermaga, akan tetapi terhubung jalur pelayaran untuk merapat ataupun keluar dermaga terbatas biasanya terjadi antrian bagi kapal-kapal yang memerlukan jasa Tug Boat terlebih lagi jika Tug Boat-Tug Boat yang beroperasi, kemampuan Maneuver dan kecepatannya relatif lambat atau kurang handal sehingga akan menambah panjang antrian kapal, selain itu order jasa dari kapal Tug Boat yang bersangkutan akan berkurang, begitu pula dengan kapal-kapal yang membutuhkan jasa tunda. Untuk mengatasi hal ini diperlukan suatu terobosan baru mengenai perkembangan olah gerak kapal Tug Boat yang memadai dan handal dalam operasinya sehingga nantinya diharapkan akan dihasilkan performance Tug Boat yang memiliki kemampuan manuver dan kecepatan yang tinggi dengan Stabilitas yang optimal, disamping memiliki unjuk kerja mesin yang tinggi pula.

Jika ditinjau secara keseluruhan dari segi ekonomi, maka akan sangat menguntungkan tidak hanya bagi pemilik Tug Boat itu sendiri tetapi juga kapal-kapal yang menggunakan jasanya. Keuntungan yang akan diterima oleh pemilik Tug Boat adalah bahwa semakin cepat kemampuan Tug Boat dalam menunda kapal-kapal yang ingin merapat atau keluar dermaga maka akan semakin banyak pemasukan yang diterima pemilik Tug Boat karena lebih banyak melayani kapal-kapal yang memerlukan jasa tunda. Sedangkan bagi kapal-kapal yang

menggunakan jasa Tug Boat, keuntungannya adalah bahwa semakin cepat merapat ke dermaga maka akan semakin cepat pula dilakukan bongkar muat muatan sehingga kapal yang bersangkutan pun bisa segera melanjutkan perjalanan untuk menerima order berikutnya yang berarti pemasukan bertambah. Keuntungan lain yaitu jika suatu kapal berada dalam keadaan darurat, maka dengan keberadaan yang handal maka kapal tersebut dapat segera ditarik ke dermaga untuk dilakukan perbaikan sehingga kerugian-kerugian yang tidak perlu akibat terlalu lama menunggu giliran dapat dihindari.

Jadi pada intinya, Maneuverability Tug Boat harus handal dan cepat dalam beroperasi karena fungsinya yang cukup vital sebagai penunjang kelancaran arus lalu lintas Wahana Laut di kawasan dermaga. Yang perlu mendapat perhatian lebih adalah modifikasi Sistem Penggerak Utamanya yaitu Main Engine serta Optimasi Peletakan Schottle Terhadap Maneuverability, Stabilitas dan pengaruh Tahanan pada Tug Boat. Ketiganya memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem olah gerak Tug Boat. Disamping itu Bollard pull dari Tug Boat tersebut harus sudah lolos uji dan juga Peletakan Schottelnya harus dipertimbangkan secara untuk mendapatkan Maneuverability Tug Boat yang optimal dan handal dalam operasinya. Dengan demikian akan dihasilkan unjuk kerja Tug Boat yang bisa diandalkan dalam berbagai macam kondisi pelayaran terutama pada saat menarik kapal dan melakukan gerakan Zig-zag sehingga butuh penyesuaian yang tidak hanya tergantung pada besar-kecilnya kapal-kapal yang akan ditarik akan tetapi letak dari schottel tersebut juga akan berpengaruh di sisi lain juga faktor alam (angin dan gelombang) di daerah operasionalnya juga perlu di pertimbangkan, sebab jika salah perhitungan maka akibatnya bisa fatal karena dapat menimbulkan korban jiwa maupun kerugian material apabila alam sedang tidak

bersahabat, misalnya saja Tug Boat yang mengalami oleng saat melakukan manouver zig-zag akibat dari tata letak Schottel yang kurang optimal dan bahkan jika fatal akan terjadi kecelakaan di laut akibat salah perhitungan Tahanan dan Stabilitas juga Bollard Pull Tug Boat yang bersangkutan di tambah pengaruh dari kondisi lingkungan.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Dari pendahuluan yang telah diuraikan sebelumnya, terdapat beberapa permasalahan yang perlu di angkat dalam penulisan tugas akhir ini dengan tujuan untuk mempermudah pencarian solusi, diantaranya dapat di uraikan sebagai berikut:

1. Pada waktu beroperasi Tug Boat di tuntut untuk memiliki kemampuan maneuver (Zig-zag) yang optimal, terutama pada waktu merapatkan kapal-kapal yang membutuhkan jasanya, akan tetapi terkadang Tug Boat sering mengalami kesulitan karena kemampuan bermanuvernya yang rendah dan bahkan terkadang bisa terjadi oleng akibat kesalahan perhitungan dalam peletakan Schottel. Pada saat Tug Boat melakukan proses merapatkan kapal yang akan di tunda pada bagian buritan, maka pada saat yang sama bagian yang lain akan mengalami gaya perlawanan menjauhi dermaga sehingga akan memperlama proses penyandaran kapal sehingga dari segi waktu tidak efisien
2. Kurang optimalnya Stabilitas dan Kecepatan yang dimiliki oleh Tug Boat maka akan memperlama proses penyandaran kapal akibatnya akan memperpanjang antrian kapal-kapal yang memerlukan jasanya, sehingga akan memperlama pula proses bongkar muat barang di dermaga, hal ini jika di tinjau

secara ekonomis justru akan merugikan, tidak hanya bagi kapal Tug Boat *t* itu sendiri tetapi juga kapal-kapal yang antri untuk di tunda tersebut. Bagi kapal Tug Boat sendiri akan mengurangi ordernya dalam menunda kapal-kapal yang memerlukan jasanya sehingga mengurangi pendapatan, sedangkan bagi kapal-kapal yang memerlukan jasa tunda akan berkurang juga order pengiriman barangnya yang juga berarti kerugian.

3. Bagaimana memperkecil Momen Statis dan Sudut Trim yang terjadi akibat pada berbagai variasi peletakkan Schottel sehingga Tug Boat mampu bermanuver ke segala arah dengan Periode Putar yang sekecil mungkin terhadap berbagai macam variasi gerakan dan kecepatan.
4. Pertimbangan dari segi ekonomi adalah jika menggunakan Tug Boat dengan Sistem Propulsi yang lazim digunakan pada Kapal – kapal konvensional maka dalam proses tunda kapal akan memerlukan minimal 2 buah Tug Boat sehingga mengakibatkan pengeluaran dana yang cukup besar. Akan tetapi jika kita menggunakan Tug Boat dengan penggerak Schottel maka dalam proses tundanya cukup hanya dengan menggunakan 1 buah Tug Boat saja sehingga akan lebih menghemat biaya dengan efisiensi waktu yang lebih cepat.

1.3. BATASAN MASALAH

Agar dalam penyusunan Tugas Akhir ini lebih terfokus dan terarah, maka diperlukan batasan-batasan masalah, antara lain sebagai berikut:

1. Data yang digunakan dalam analisa ini :
 - a. Data kapal Tug Boat 2 x 1200 HP Jayakarta I buatan PT.PAL Indonesia

- b. Data Peletakan Schottel dari Manual Book Schottel For The Shipping World
- c. Data perumusan dan perhitungan di ambil buku-buku referensi yang terdapat dalam daftar pustaka dan masih relevan terhadap analisa dan perhitungan data Tugas Akhir ini.
2. Kondisi alam diasumsikan "Blue Sky" dalam artian bahwa kondisi perairan tenang.
3. Uji Optimasi Peletakan Schottel hanya didasarkan pada perhitungan-perhitungan yang di peroleh dari buku-buku referensi yang menjadi Daftar Pustaka Tugas Akhir ini yang memuat persamaan-persamaan yang secara logika masih cukup relevan jika diterapkan.
4. Tujuan Tugas Akhir ini hanya di fokuskan pada Maneuverability dan Stabilitas kapal Tug Boat 2x1200 HP Jayakarta I terhadap 6 derajat kebebasan gerak kapal di laut.
5. Kondisi uji Tug Boat 2x1200 HP adalah **Light Ship Condition**.
6. Tidak ada pembahasan mengenai lay out kamar mesin.
7. Tidak ada pembahasan masalah perhitungan konstruksi.

1.4. TUJUAN PENULISAN

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk mendapatkan Optimasi Peletakan Schottel Type SRP 550 FP pada kapal Tug Boat 2x1200 HP Jayakarta I dengan semua faktor yang mempengaruhinya antara lain :

1. Untuk mendapatkan Stabilitas Tug Boat yang Optimal terhadap Peletakan Schottel dengan Cara:

- a). Mencari Posisi Schottel yang paling dekat dengan Center Of Gravity
 - b). Mencari Posisi B dan G yang paling dekat
 - c). Mencari Sudut Trim Tug Boat yang paling kecil(θ_{Trim})
 - d). Mencari Momen Statis Tug Boat yang paling kecil(MC)
2. Untuk mendapatkan Maneuverability Tug Boat yang Optimal terhadap Peletakan Schottel dengan cara:
- a). Mencari besarnya Radius Of Gyration untuk gerak Yawing(K_{zz}) dan Pitching(K_{xx})
 - b). Mencari besarnya Moment Of Inertia untuk gerak Yawing(I_{zz}) dan Pitching(k_{xx})

1.5. MANFAAT PENULISAN

Dengan melakukan analisa optimasi peletakan Schottel pada kapal Tugboat, maka nantinya diharapkan akan didapatkan manfaat sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan kemampuan Olah Gerak (Maneuverability) Tug Boat 2x 1200 HP Jayakarta I Yang Paling optimal.
2. Untuk mendapatkan Stabilitas Tug Boat 2x 1200 HP Jayakarta I Yang Paling optimal.
3. Untuk mendapatkan Formulasi yang tepat guna mengoptimalkan peletakannya Schottel pada kapal Tug Boat dan juga Sebagai Referensi atau pertimbangan bagi PT.PAL khususnya dalam desain awal kapal *Tug Boat* untuk mencapai kecepatan yang optimal dan handal dalam operasionalnya sehingga akan senantiasa menguntungkan, tidak hanya bagi owner Tugboat itu sendiri tetapi juga bagi kapal-kapal lain yang memerlukan jasa tunda ke dermaga.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. MODEL MATEMATIS

2.1.1. Pendahuluan

Banyak fenomena alami yang dapat dijelaskan secara sederhana dengan memakai persamaan matematis atau sistem persamaan matematis. Sistem persamaan demikian itu disebut *model matematis*. Model tersebut dipakai untuk mewakili fenomena fisik yang sebenarnya.

Hukum Newton yang kedua mengenai gerak,

$$F = m \frac{dv}{dt} \text{ atau } F = ma \quad (2.1.1.1)^{(1)}$$

merupakan contoh model matematis. Di sini F adalah gaya; m , adalah massa; v , kecepatan; dan a , percepatan. Dalam kalimat, persamaan tersebut berbunyi: Gaya sama dengan massa kali percepatan, jika massanya tetap.

Dengan cara yang serupa asas Archimedes dapat dinyatakan sebagai,

$$F_{\Delta} = \rho \nabla g \quad (2.1.1.2)^{(1)}$$

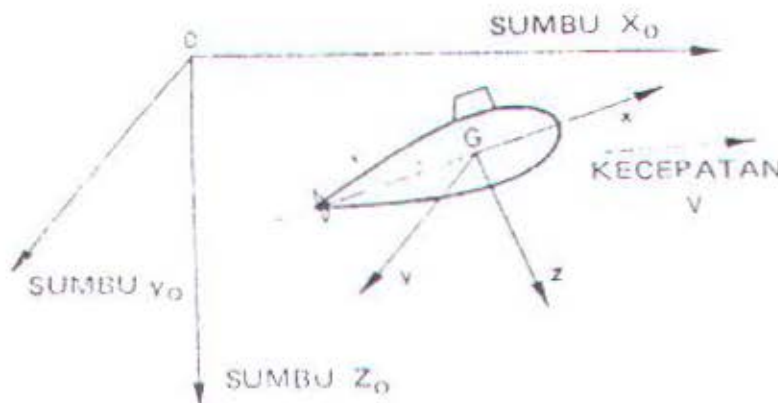
Dalam hal ini F_{Δ} adalah gaya apung; ρ , massa jenis fluida; ∇ , volume displacement (perpindahan fluida); dan g , percepatan gravitasi. Ini merupakan model matematis yang paling ekstensif pemakaiannya dalam arsitektur perkapalan. Berikut ini akan dibahas model matematis penting lainnya untuk tahanan dan propulsi kapal. Aliran sekeliling badan kapal merupakan aliran tiga dimensi dan model

matematisnya harus menyatakan aliran tersebut. Pembuatan model matematis tiga dimensi yang akurat dan dapat dipakai sering mengalami kesulitan, bahkan barangkali mustahil dapat dilakukan. Dalam hal demikian itu, kadang-kadang aliran dua dimensi dapat dipakai dengan hasil yang memuaskan. Dalam model dua dimensi demikian itu aliran diasumsikan berlangsung sebagai selapisan bidang, dan aliran di dalam satu lapisan tidak mempengaruhi aliran di dalam lapisan di dekatnya. Karena itu contoh untuk aliran baik tiga maupun dua dimensi akan diberikan di sini.

2.1.2. Gerakan Benda

Agar dapat membuat model matematis untuk gerakan benda di dalam fluida harus diatur dulu suatu sistem sumbu. Umumnya sistem yang dipakai adalah sistem sumbu ortogonal dengan kaidah kanan. Kapal merupakan benda memanjang, yaitu panjangnya lebih besar daripada lebarnya atau tingginya. Di samping itu, setiap kapal mempunyai sebuah bidang simetri yang selalu tegak lurus permukaan bumi. Karena itu, akan memudahkan bila seperangkat sumbu yang terdiri dari tiga buah sumbu ortogonal - x , y dan z - ditempatkan sedemikian rupa sehingga pusat ketiga sumbu tersebut berhimpit dengan titik berat kapal atau dengan titik lain yang dikehendaki pada bidang simetri dan sedemikian rupa sehingga sumbu x dan z berada pada bidang simetri tersebut. Maka sumbu x , selain diletakkan pada bidang simetri vertikal, diarahkan pula ke depan, sejajar dengan garis air muat perancangan. Jika sumbu x ini melalui titik berat maka sumbu tersebut kira-kira akan berimpit dengan sumbu inersia longitudinal kapal. Sumbu y diarahkan ke lambung kanan. Karena kedudukan sumbu x , y , dan z di kapal tetap maka ketika kedudukan kapal relatif terhadap bumi mengalami

perubahan, berubahnya pusat dan arah ketiga sumbu tersebut bersama waktu juga relatif terhadap bumi. Untuk menyatakan suatu fenomena masih diperlukan seperangkat lagi sumbu ortogonal - x_0 , y_0 , dan z_0 - yang merupakan perangkat sumbu kedua. Bidang yang dibentuk oleh sumbu x_0 dan y_0 dapat berupa bidang yang menyinggung permukaan bumi di suatu titik sembarang. Arah x_0 dan y_0 sebarang, tetapi sumbu z_0 berada dalam arah yang umum dipakai untuk menyatakan awal gerakan benda. Sumbu z_0 positif diarahkan vertikal ke bawah. Pusat dan arah ketiga sumbu ini diasumsikan selalu tetap, sedangkan sumbu x , y , dan z mengikuti perubahan kedudukan kapal. Kedua perangkat sumbu tersebut ditunjukkan dalam Gb. 2.1.2.1. Vektor satuan sepanjang x , y , dan z , masing-masing ditulis sebagai i , j , dan k .



Gambar 2.1.2.1. Sumbu bumi dan sumbu kapal
Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 4

Untuk menangani gerakan kapal dipakai pengetahuan dasar tentang dinamika benda kaku. Jika pusat sumbu dipilih pada titik berat (G) maka hukum Newton dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$F = m \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \quad (\text{momentum}) \quad (2.1.2.1)^{(1)}$$

$$M = I \frac{d\Omega}{dt} = \frac{d}{dt} \quad (\text{momentum sudut}) \quad (2.1.2.2)^{(1)}$$

F adalah gaya vektor yang bekerja pada kapal. Komponen gaya ini, sepanjang sumbu x , y , dan z , masing-masing adalah X , Y , dan Z . Dengan demikian maka

$$\mathbf{F} = X\mathbf{i} + Y\mathbf{j} + Z\mathbf{k} \quad (2.1.2.3)^{(1)}$$

M adalah momen vektor yang bekerja pada kapal. Komponennya sepanjang sumbu x , y , dan z masing-masing adalah K , M , dan N . Dengan demikian maka

$$\mathbf{M} = K\mathbf{i} + M\mathbf{j} + N\mathbf{k} \quad (2.1.2.4)^{(1)}$$

V adalah vektor kecepatan linier yang mempunyai komponen u , v , dan w . Dengan demikian maka

$$\mathbf{V} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k} \quad (2.1.2.5)$$

m adalah massa kapal. Oleh karena laju perubahan massa akibat pemakaian bahan bakar dan perbekalan diabaikan maka massa kapal pada hakikatnya selalu tepat. Dalam notasi kita, t adalah waktu dan d/dt adalah turunan terhadap waktu, Ω adalah kecepatan sudut vektor yang mempunyai komponen p , q , dan r , masing-masing terhadap sumbu x , y , dan z :

$$\Omega = p\mathbf{i} + q\mathbf{j} + r\mathbf{k} \quad (2.1.2.6)^{(1)}$$

I adalah momen inersia.

Momentum sudut dapat dinyatakan sebagai

$$\text{Momentum sudut} = \begin{bmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{yx} & I_{yy} & -I_{yz} \\ -I_{zy} & -I_{zx} & I_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (2.1.2.7)^{(1)}$$

Dalam hal ini, suku I_{xy} , I_{yz} , dan sebagainya, adalah hasil kali inersia. Jika pusat sistem sumbu terletak pada titik berat dan sumbu yang dipilih adalah sumbu utama maka hasil kali inersia tersebut adalah nol. Dengan demikian maka momentum sudut menjadi

$$\text{Momentum sudut} = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (2.1.2.8)^{(1)}$$

atau

$$\text{Momentum sudut} = I_{xx}p\mathbf{i} + I_{yy}q\mathbf{j} + I_{zz}r\mathbf{k} \quad (2.1.2.9)^{(1)}$$

Dengan memakai persamaan (2.1.2.1)-(2.1.2.9) maka seperangkat persamaan yang menyatakan gerakan kapal dapat dicari :

$$\begin{aligned} X &= m(\dot{u} + qw - rv) \\ Y &= m(\dot{v} + qw - rv) \\ Z &= m(\dot{w} + qw - rv) \end{aligned} \quad (2.1.2.10a)^{(1)}$$

$$\begin{aligned} K &= I_{xx}\dot{p} + (I_{zz} - I_{yy})qr \\ M &= I_{yy}\dot{q} + (I_{xx} - I_{zz})rp \\ N &= I_{zz}\dot{r} + (I_{yy} - I_{xx})pq \end{aligned} \quad (2.1.2.10b)^{(1)}$$

Tanda titik yang dibubuhkan di atas kuantitas menyatakan turunan kuantitas tersebut terhadap waktu. Penyimpangan dari persamaan ini dapat dilihat antara lain pada **Abkowitz** (1964, halaman 1-13; 1969, halaman I-1-13).⁽³⁾

Jika pusat sistem sumbu tersebut tidak berada pada titik berat dan jika titik berat terletak pada (x_G, y_G, z_G) maka persamaan gerak tersebut menjadi sedikit lebih rumit :

$$\begin{aligned} X &= m[\dot{u} + qw - rv - X_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + z_G(pr + \dot{q})] \\ Y &= m[\dot{v} + ru - pw - y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr - \dot{p}) + x_G(qp + \dot{r})] \\ Z &= m[\dot{w} + pv - qu - z_G(p^2 + q^2) + x_G(rp - \dot{q}) + y_G(rq + \dot{p})] \end{aligned} \quad (2.1.2.11a)$$

$$\begin{aligned} K &= I_{xx}\dot{p} + (I_{zz} - I_{yy})qr + m[y_G(\dot{w} - pv - qu) - z_G(\dot{v} + ru - pw)] \\ M &= I_{yy}\dot{q} + (I_{xx} - I_{zz})qr + m[z_G(\dot{u} + qw - rv) - x_G(\dot{w} + pv - qu)] \end{aligned} \quad (2.1.2.11b)$$

$$N = I_{zz}\dot{r} + (I_{yy} - I_{xx})qr + m [x_G(v + ru - pw) - y_G(u + qw - rv)]^{(1)}$$

Dalam sistem (2.1.2.11), tiga persamaan yang pertama (2.1.2.11a) menyatakan translasi sepanjang sumbu dan tiga yang terakhir (2.1.2.11b) menyatakan rotasi terhadap sumbu.

Keenam persamaan tersebut harus dipakai semua bila membahas mengenai perilaku kapal di laut. Untuk menangani masalah mengenai pengemudian dan olah gerak kapal biasa, umumnya dipakai sistem persamaan yang direduksi :

$$\begin{aligned} X &= m(\dot{u} - rv) \\ Y &= m(\dot{v} - ru) \\ N &= I_{zz}\dot{r} \end{aligned} \quad (2.1.2.12)^{(1)}$$

Selanjutnya, jika membahas mengenai tahanan dan propulsi kapal, persamaan

$$X = mu^* \quad (2.1.2.13)^{(1)}$$

merupakan persamaan yang utama diperlukan. Dengan kata lain, dari sistem persamaan gerak dalam model matematis hanya sebagian kecil saja yang sesungguhnya dipakai.

2.1.3. Gaya dan Momen yang Bekerja pada Benda

Setiap kapal dibebani empat gaya yang tidak saling tergantung satu sama lain. Gaya ini timbul dari :

Gravitasi bumi yang bekerja baik pada kapal maupun pada air yang dibebani kapal itu.

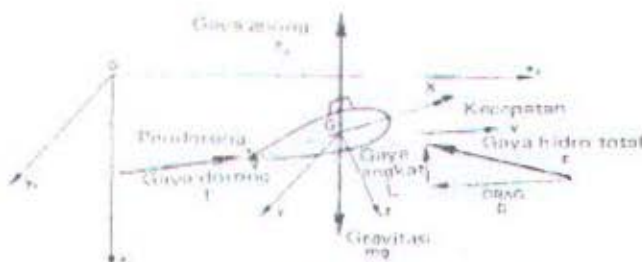
Kecepatan kapal, V , relatif terhadap air dan udara atau air yang dilintasi kapal itu.

Aksi yang dilakukan oleh pendorong kapal.

Keempat gaya tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Gaya hidrostatis, yaitu massa kali percepatan gravitasi atau mg .
- Tekanan hidrostatis atau gaya apung, F_A . Seperti halnya mg , tekanan atau gaya ini selalu sejajar z_0 .
- Resultan gaya hidrodinamik, F , yang didesakkan oleh pada kapal sebagai akibat gerakan kapal menerjang air tersebut. F dapat diuraikan dalam dua komponen : Komponen angkat L dan komponen tahanan (atau drag) R (atau D). L tegak lurus kecepatan kapal dan R (atau D) sejajar V .
- Gaya dorong, T , yang didesakkan oleh air pada pendorong kapal, umumnya berlawanan dengan arah R .

Jika hasil penjumlahan gaya dan hasil penjumlahan momen gaya terhadap suatu pusat sebarang sama dengan nol maka kecepatan kapal akan selalu tetap dan tidak terjadi rotasi. Hal yang paling umum adalah gerakannya horizontal, yaitu V sejajar dengan x_0 , dan hanya F dan T saja yang mempunyai komponen sejajar V . Dengan demikian maka T sama dengan R tetapi berlawanan arah. R merupakan komponen horizontal dari hasil penjumlahan gaya hidrodinamik (pada Gb. 2.1.3.1. disebut gaya hidro total).



Gambar 2.1.3.1. Gaya pada kapal

Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 5

Resultan gaya hidrodinamik sangat ditentukan oleh berbagai parameter dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\text{Gaya} = f[(\text{ciri kapal}), (\text{ciri gerakan}), (\text{ciri air})] \quad (2.1.3.1)^{(1)}$$

2.1.3.1. Ciri Kapal

Ciri kapal adalah ukuran, bentuk, massa, dan distribusi massanya dan semuanya itu dapat dijelaskan sebagai berikut :

Ukuran : L, panjang kapal, dapat dipakai.

Bila membahas mengenai tahanan dan propulsi maka L umumnya adalah panjang garis air, tetapi untuk kapal mempunyai haluan gembung, panjang yang dipakai adalah panjang keseluruhan yang terbenam (L_{os}) (lihat Gb. 5.5.117). Dalam hal lain, pemakaian panjang antara garis tegak, L_{pp} , sebagai panjang karakteristik mungkin lebih disukai.

Bentuk : Geometri kapal tidak mungkin dapat dinyatakan secara sederhana. Berbagai koefisien yang berbeda dapat dipakai untuk keperluan tersebut : δ , δ_{pp} , β , ϕ , ψ , L/B , B/T , dan $L/\nabla^{1/3}$.

di sini

$$\delta = \frac{\nabla}{LBT} = \text{koefisien blok}$$

$$\delta_{pp} = \frac{\nabla}{L_{pp}BT} = \text{koefisien blok}$$

$$\beta = \frac{A_X}{BT} = \text{koefisien penampang tengah kapal}$$

$$\phi = \frac{\nabla}{A_X L} = \text{koefisien prismatic}$$

$$\psi = \frac{\nabla}{A_w T} = \text{koefisien prismatic vertikal}$$

$$\frac{L}{B} = \text{perbandingan (rasio) antara panjang dengan lebar}$$

$$\frac{B}{T} = \text{perbandingan (rasio) antara lebar dengan sarat}$$

$$\frac{L}{\nabla^{1/3}} = \text{perbandingan (rasio) antara panjang dengan displasemen}$$

A_v dan A_w masing-masing adalah luas penampang tengah yang terbenam dan luas bidang air; ∇ adalah volume displasemen. Koefisien $\tau = a/b$ dapat mencari khaskan bentuk penampang pada linggi depan (lihat Gb.). Setengah sudut masuk dan setengah sudut lari juga dapat dipakai. Setengah sudut masuk adalah sudut garis air di haluan terhadap bidang paruh dengan mengabaikan bentuk setempat di linggi depan itu. Setengah sudut lari adalah sudut garis air di buritan terhadap bidang paruh dengan mengabaikan bentuk setempat di buritan itu.

Massa : Massa kapal diberi simbol m . Distribusi massa merupakan hal yang penting bagi gerakan kapal dan dapat dicari khaskan berdasarkan letak titik berat (x_G, y_G, z_G) momen inersianya (I_{xx}, I_{yy} , dan sebagainya)

2.1.3.2. Ciri Gerakan

Peninjauan ciri gerakan dapat dibedakan dalam dua bagian : (1) peninjauan relatif terhadap fluida dan (2) dinamikanya. Peninjauan kapal dapat dilakukan dengan memakai sistem koordinat tetap x_0, y_0, z_0 sebagaimana disebutkan di bagian 2.1.2. Perpindahan linier sepanjang ketiga sumbu yang melalui titik berat itu masing-masing disebut luncur (surge), lenggang (sway), dan lonjak (heave). Rotasi sudut terhadap sumbu, x, y , dan z masing-masing disebut oleng (roll, ϕ),



angguk (pitch, θ) dan geleng (yaw, ψ). Untuk menyatakan dinamika gerakannya dapat dipakai :

Kecepatan : komponen kecepatan kapal linier sepanjang sumbu x , y , dan z masing-masing adalah u , v , dan w . Komponen kecepatan sudut kapal terhadap sumbu x , y , dan z masing-masing adalah p , q , dan r .

Percepatan : percepatan linier adalah u , v , dan w , dan percepatan sudut adalah p , q , dan r .

Laju kisaran : laju kisaran adalah kecepatan sudut poros baling-baling (n) atau kadang-kadang percepatan sudutnya.

Permukaan kontrol : Defleksi, δ , yang dialami permukaan kontrol merupakan hal yang penting bagi gerakan. Sebagai permukaan kontrol dapat dipilih daun kemudi, hidroplan haluan dan buritan, papan selam, atau strip anti oleng.

2.1.3.3. Ciri Air

Ciri air atau udara dapat ditandai menurut :

ρ = massa jenis air

ρ_a = massa jenis udara

μ = kekentalan (viskositas)

τ = tegangan permukaan

g = percepatan gravitasi

P = tekanan

P_v = tekanan uap air

E = elastisitas air

Disamping itu, ukuran, bentuk, dan gerakan air di sekeliling kapal juga merupakan bahan pertimbangan. Kedalaman air (h), lebar terusan (W) atau sungai,

kecepatan linier atau sudut di air, dan lain sebagainya, merupakan hal yang penting bagi gerakan kapal.

2.1.3.4. Satuan Ukuran

Untuk mengukur kuantitas diperlukan sistem ukuran atau dasar satuan. Buku ini memakai sistem metrik yang telah dirasionalisasikan menurut *Systeme International d' Unites (SI)*. Penjelasan mengenai sistem ini dapat dilihat pada rekomendasi ISO (*International Organization for Standardization*). Penjelasan mengenai metrikasi dalam penelitian dan perancangan kapal dapat dijumpai dalam Paffet (1971)⁽⁴⁾. Keseluruhan sistem SI dibentuk atas dasar enam ukuran pokok - massa, panjang, waktu, arus listrik, suhu, intensitas cahaya. Perhitungan dalam penelitian dan perancangan kapal sebagian besar hanya melibatkan massa, panjang, waktu dan kuantitas yang dapat diturunkan langsung dari massa, panjang dan waktu tersebut dengan memakai hukum alam. Kuantitas turunan yang paling penting adalah gaya yang menurut hukum Newton kedua didefinisikan sebagai :

$$F = ma \quad (2.1.3.2)^{(4)}$$

Yaitu, gaya sama dengan massa kali percepatan. Hal berikut ini penting untuk diperhatikan :

Satuan pokok massa adalah kilogram (kg).

Satuan pokok panjang adalah meter (m).

Satuan pokok waktu adalah detik (s).

Satuan pokok gaya adalah Newton (N), satuan turunan.

Satu Newton didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk mempercepat 1 kg massa dengan laju 1 meter per detik per detik.

Satuan energi adalah joule (J) atau 1 newton meter (N.m).

Satuan daya adalah Watt (W) yang sama dengan 1 joule per detik.

Umumnya, satuan daya yang dipakai untuk kapal adalah kilowatt jam (kW)

$$1 \text{ kW} = 1 \text{ kN} \times 1 \text{ m/det.} \quad (2.1.3.3)^{(1)}$$

2.1.3.5. Model Tanpa Dimensi

kadang-kadang dijumpai model matematis sedemikian rupa sehingga harus dipakai suatu sistem satuan tertentu. Jika sistem yang dipakai berbeda dengan sistem aslinya maka koefisien dalam persamaan tersebut harus diganti. Oleh karena itu, penyajian persamaan dalam model matematis dalam bentuk tanpa dimensi akan memberikan kemudahan. Keuntungan lain yang sering didapat dari pemakaian kuantitas tanpa dimensi dalam menganalisa hukum alam adalah berkurangnya jumlah parameter atau variabel.

2.1.3.6. Gaya

Gaya pada benda yang berada di dalam fluida dapat berupa gaya yang normal (tegak lurus) terhadap permukaan benda (gaya tekanan) atau yang menyinggung permukaan benda (gaya gesek). Unsur $\frac{1}{2}\rho U^2$ mempunyai dimensi yang dipakai untuk tekanan dan disebut tekanan dinamis. Gaya tekanan dinamis pada suatu elemen sebarang di permukaan kapal tertentu dapat dinyatakan sebagai fungsi dari tekanan dinamis.

$$F_1 = \frac{1}{2} \rho U^2 \gamma_1 A_1 \quad \text{atau} \quad \frac{1}{2} \rho V^2 \gamma_1 A_1 \quad (2.1.3.4)^{(1)}$$

Dalam hal ini A_1 adalah luas karakteristik kapal dan γ_1 adalah parameter geometrik yang tergantung pada kecepatan setempat dan arah gaya tekanan. Umumnya U adalah kecepatan fluida dan V adalah kecepatan kapal. Gaya singgung atau gaya geser pada elemen permukaan kapal dapat dinyatakan sebagai

$$F_2 = \mu \frac{U}{L} \gamma_2 A_2 \quad (2.1.3.5)^{(1)}$$

μ adalah koefisien kekentalan. Gaya viskos (gaya kental) didefinisikan sebagai $\mu(dU/dy)A$. Dalam hal ini dU/dy adalah gradien kecepatan yang tegak lurus permukaan. γ_2 adalah parameter yang tergantung pada geometri kapal. A_2 dan A adalah luas.

Gaya gravitasi pada kapal dapat dinyatakan sebagai

$$F_3 = \rho L A_3 g \gamma_3 \quad (2.1.3.6)^{(1)}$$

ρ = massa jenis

L = panjang

A_3 = luas

G = percepatan gravitasi

γ_3 = parameter yang tergantung pada geometri kapal

Jika gaya tegangan permukaan harus pula diperhitungkan maka gaya pada kapal dapat dinyatakan dengan bentuk yang serupa sebagai

$$F_4 = \tau L \gamma_4 \quad (2.1.3.7)^{(1)}$$

τ adalah koefisien tegangan permukaan, L adalah panjang, dan γ_4 adalah parameter geometrik.

2.1.3.7. Rasio Tanpa Dimensi

Dalam melakukan pengukuran, kita mengambil rasio antara dua kuantitas fisik yang sama. Memilih gaya dinamik pada elemen permukaan sebagai dasar untuk membandingkan, akan memberikan kemudahan dalam mengukur gaya di medan kapal secara hidromekanika. Membagi gaya yang didistribusikan dari

berbagai sumber dengan gaya dinamik akan menghasilkan rasio tanpa dimensi atau koefisien gaya :

$$C = \frac{F}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \text{ atau } \frac{F}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (2.1.3.8)^{(1)}$$

Koefisien gaya untuk gaya singgung atau gaya gesek ditulis sebagai :

$$C_2 = \frac{F_2}{F_1} = \frac{\mu(U/L)A_2\gamma_2}{\frac{1}{2}\rho U^2 A_1\gamma_1} = \frac{\mu/\rho}{UL} \gamma_2 \quad (2.1.3.9)^{(1)}$$

γ_2 adalah faktor yang tergantung geometri kapal. Unsur μ/ρ adalah kekentalan kinematik air dan diberi simbol ν . Selanjutnya, angka Reynold dinyatakan sebagai:

$$R_n = \frac{UL}{\nu} \text{ atau } R_n = \frac{VL}{\nu} \quad (2.1.3.10)^{(1)}$$

Koefisien C_2 merupakan fungsi dari angka Reynold dan geometri kapal :

$$C_2 = f(R_n, \gamma_2) \quad (2.1.3.11)^{(1)}$$

Koefisien gaya gravitasi (2.1.3.6) dinyatakan sebagai :

$$C_3 = \frac{F_3}{F_1} = \frac{\rho L A_3 g \gamma_3}{\frac{1}{2} \rho V^2 A_1 \gamma_1} = \frac{gL}{V^2} \gamma_6 \quad (2.1.3.12)^{(1)}$$

γ_6 adalah faktor yang ditentukan oleh geometri kapal. Parameter tanpa dimensi ini umumnya dinamakan menurut nama orang yang pertama kali mendemonstrasikan pentingnya paramater tersebut dalam hidrodinamika kapal. Parameter dalam persamaan (2.1.3.12) disebut *angka Froude* dan ditulis sebagai :

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (2.1.3.13)^{(1)}$$

Dengan demikian maka koefisien tersebut dapat ditulis sebagai



$$C_d = f(F_n, \gamma_6) \quad (2.1.3.14)^{(1)}$$

Perlu pula disebutkan di sini bahwa parameter V/\sqrt{L} , dinamakan rasio kecepatan - panjang, sering dipakai dalam kepustakaan. V mempunyai satuan knot dan L dalam satuan kaki, sehingga rasio kecepatan panjang tersebut merupakan parameter tanpa dimensi.

Koefisien gaya tegangan permukaan (2.1.3.7) ditulis sebagai :

$$C_4 = \frac{F_4}{F_1} = \frac{\tau L \gamma_3}{1/2 U^2 A_1 \gamma_1} = \frac{\tau}{\rho U^2 L} \gamma_7 \quad (2.1.3.15)^{(1)}$$

γ_7 adalah faktor yang ditentukan oleh geometri kapal. Parameter tanpa dimensinya adalah angka Weber :

$$W_n = \frac{U^2 L}{\tau} = \frac{U^2 L}{\kappa} \quad (2.1.3.16)^{(1)}$$

κ adalah koefisien kapilaritas kinematik. Dengan demikian maka persamaan (2.1.3.15) dapat dinyatakan sebagai :

$$C_4 = f(W_n, \lambda_7) \quad (2.1.3.17)^{(1)}$$

Dalam bentuk tanpa dimensi, fungsi untuk koefisien gaya pada kapal atau pada model kapal atau pada bagian dari kapal dapat ditulis sebagai :

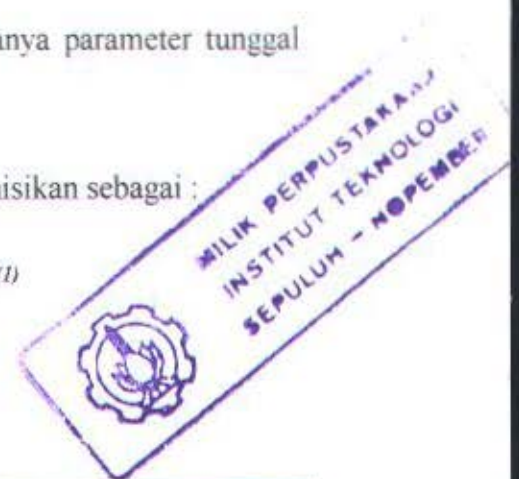
$$C = f(R_n, F_n, W_n, \gamma) \quad (2.1.3.18)^{(1)}$$

Dalam model matematis ini, untuk menyatakan fenomena mungkin masih diperlukan tambahan beberapa parameter lagi. Di sini hanya parameter tunggal saja yang akan disebutkan.

Angka kavitasi tidak mempunyai dimensi dan didefinisikan sebagai :

$$\sigma_v = \frac{p - p_v}{q} \quad (2.1.3.19)^{(1)}$$

p = tekanan absolut udara di sekeliling



P_v = tekanan uap air

$q = \frac{1}{2} \rho U^2$ = tekanan dinamik

Banyak parameter tanpa dimensi atau koefisien untuk menyatakan bentuk badan kapal yang disebutkan ketika membahas persamaan (2.1.3.1). Kita perhatikan bahwa massa dan momen inersia dapat dijadikan tanpa dimensi dengan membagi masing-masing dengan ρL^3 dan ρL^5 .

Pada umumnya, kecuali disebutkan lain, model matematis mengenai tahanan dan propulsi kapal mengandung asumsi bahwa laut mempunyai kedalaman, panjang dan lebar yang tak berhingga, parameter tanpa dimensi yang berikut ini dapat dipakai :

Dalam : h/T , T adalah sarat air pada kapal.

Panjang dan lebar : W/L , L adalah panjang kapal.

Arus : U_w/V , V adalah kecepatan kapal.

Kecepatan relatif angin V_R dapat dijadikan tanpa dimensi dengan membaginya dengan kecepatan kapal V .

2.1.4. POTENSIAL KECEPATAN DAN FUNGSI ALIRAN

Dengan memakai bantuan matematis khusus, pembuatan model matematis untuk menyatakan aliran di sekeliling kapal sering menjadi lebih mudah. Di sini, hanya fungsi potensial kecepatan ϕ dan fungsi aliran ψ yang akan dibahas.

Dalam fungsi

$$w = f(z) \quad (2.1.4.1)^{(1)}$$

z dapat berupa variabel kompleks

$$z = x + iy \quad (2.1.4.2)^{(1)}$$

$i = \sqrt{-1}$. Selanjutnya, notasi berikut dapat dipakai

$$w = \phi + i\psi \quad (2.1.4.3)^{(1)}$$

ϕ adalah skalar atau bagian riil dan ψ adalah bagian imajiner. ψ juga disebut sebagai fungsi potensial kecepatan dan ψ fungsi aliran. Pembahasan berikut ini memberikan kejelasan mengenai alasan tersebut.

Kombinasi yang dinyatakan sebagai $w = \phi + i\psi$ disebut fungsi potensial.

Persamaan $z = x + iy$ memberikan

$$\begin{aligned} \frac{\partial z}{\partial x} &= 1 & \frac{\partial x}{\partial z} &= 1 \\ \frac{\partial z}{\partial y} &= i & \frac{\partial x}{\partial z} &= -i \end{aligned} \quad (2.1.4.4)^{(1)}$$

Dari persamaan (2.1.4.2) dan (2.1.4.3) maka

$$\frac{dw}{dz} = \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial z} = \frac{\partial \phi}{\partial x} + i \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (2.1.4.5a)^{(1)}$$

dan

$$\frac{dw}{dz} = \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial z} = -i \frac{\partial \phi}{\partial y} + \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (2.1.4.5b)^{(1)}$$

Menyamakan bagian yang riil dengan yang riil dan yang imajiner dengan yang imajiner. Persamaan (2.1.4.5) menghasilkan persamaan Cauchy-Riemann :

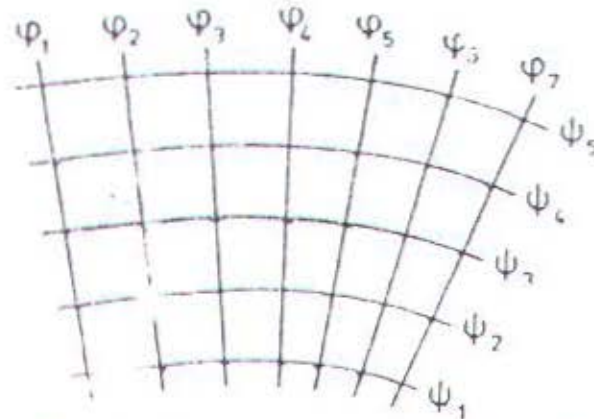
$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi}{\partial x} &= \frac{\partial \psi}{\partial y} \\ \frac{\partial \phi}{\partial y} &= -\frac{\partial \psi}{\partial x} \end{aligned} \quad (2.1.4.6)^{(1)}$$

Ini berarti bahwa kurva untuk ϕ dan ψ (Gb.2.1.4.1) akan berpotongan tegak lurus. Hubungan (2.1.4.6) merupakan hal yang penting untuk menyelesaikan berbagai masalah dalam bidang mekanika fluida.

Selanjutnya,

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right) = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y \partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \quad (2.1.4.7)^{(1)}$$

Dengan demikian maka persamaan (2.1.4.6) dan (2.1.4.7) memberikan



Gambar 2.1.4.1. Kurva fungsi potensial kecepatan ϕ dan fungsi aliran ψ untuk aliran dua dimensi.

Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 10

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \quad (2.1.4.8)^{(1)}$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 = \nabla^2 \psi = \text{div}(\text{grad} \psi)$$

dan dengan cara yang sama

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 = \nabla^2 \phi = \text{div}(\text{grad} \phi) \quad (2.1.4.9)^{(1)}$$

persamaan (2.1.4.9) disebut persamaan kontinuitas Laplace untuk fluida yang tidak dapat dimampatkan. Di sini fluidanya diasumsikan dua dimensi, dan gerakan fluidanya berlangsung, misalnya, pada bidang xy . Dengan demikian maka kecepatan U mempunyai kecepatan komponen yang dapat ditulis sebagai u dan v . Jika gerakan tersebut merupakan gerakan tiga dimensi maka persamaan Laplace dinyatakan sebagai :

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (2.1.4.10)^{(1)}$$

sehingga, potensial kecepatan dan fungsi aliran untuk medan paralel dua dimensi yang mempunyai kecepatan u sejajar sumbu x adalah

$$\phi = ux \quad \text{dan} \quad \psi = uy \quad (2.1.4.11)^{(1)}$$

untuk medan paralel yang memiliki kecepatan v sejajar sumbu y maka ϕ dan ψ akan mempunyai harga

$$\phi = vy \quad \text{dan} \quad \psi = -vx \quad (2.1.4.12)^{(1)}$$

2.1.5. ALIRAN TAK BEROTASI

Medan yang komponen kecepataannya u, v , dan w dapat dinyatakan sebagai

$$\begin{aligned} u &= \frac{\partial \phi}{\partial x} \\ v &= \frac{\partial \phi}{\partial y} \\ w &= \frac{\partial \phi}{\partial z} \end{aligned} \quad (2.1.5.1)^{(1)}$$

disebut medan potensial dan ϕ disebut potensial. Turunan parsial $\frac{\partial \phi}{\partial x}$ menunjukkan laju perubahan ϕ relatif terhadap x , bila x itu sendiri di antara variabel x, y , dan z , dapat berubah, sementara y dan z tetap.

Dalam aliran dua dimensi, komponen kecepatan tersebut akan menjadi

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad \text{dan} \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (2.1.5.2)^{(1)}$$

Dua aliran dapat digabungkan bersama. Penjumlahan komponen x dari dua kecepatan

$$u_1 = \frac{\partial \phi_1}{\partial x} \quad \text{dan} \quad u_2 = \frac{\partial \phi_2}{\partial x} \quad (2.1.5.3)^{(1)}$$

Menghasilkan

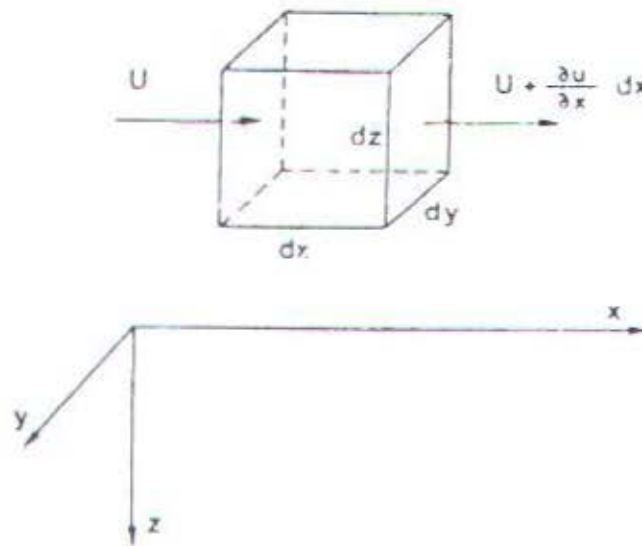
$$u = u_1 + u_2 = \frac{\partial \phi_1}{\partial x} + \frac{\partial \phi_2}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (\phi_1 + \phi_2)$$

Persamaan serupa juga akan dapat diperoleh untuk komponen lainnya (v dan w).

Dengan demikian maka dapat dinyatakan bahwa jika dua atau sejumlah fungsi potensial ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 , dan sebagainya berada pada medan yang sama, fungsi resultannya merupakan jumlah dari masing-masing fungsi tersebut. Jadi

$$\begin{aligned} u &= \frac{\partial \sum \phi}{\partial x} \\ v &= \frac{\partial \sum \phi}{\partial y} \\ w &= \frac{\partial \sum \phi}{\partial z} \end{aligned} \quad (2.1.5.4)^{(1)}$$

Jika berada di dalam medan ideal, fluida tersebut diasumsikan sebagai fluida yang tidak dapat dimampatkan atau dalam hal apa saja diasumsikan bergerak melalui medan tanpa mengalami perubahan massa jenis. Dengan demikian maka jumlah fluida di dalam elemen volume yang dibatasi oleh dx , dy , dan dz harus tetap (Gb. 2.1.5.1). pandang u sebagai harga dari komponen U pada x di titik pusat sisi dy dan dz dekat bidang yz .



Gambar 2.1.5.1. fluks melalui $dx\ dy\ dz$

Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 11

Maka harga kecepatan pada titik yang bersangkutan di belakang sisi $dy\ dz$ menjadi

$$U + \frac{\partial U}{\partial x} dx \quad (2.1.5.5)^{(1)}$$

Perbedaan kecepatannya harus dikalikan dengan luas $dy\ dz$ agar menghasilkan fluks keluar yang bersih (neto). Dengan demikian maka fluks bersih melalui elemen volume dapat dinyatakan sebagai

$$-\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right) dx\ dy\ dz \quad (2.1.5.6)^{(1)}$$

Yang berada di dalam kurung adalah divergensi dari vektor kecepatan U dan harus lenyap bila fluidanya ideal. Oleh karena itu

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.1.5.7)^{(1)}$$

Dengan memakai persamaan (2.1.5.1) maka persamaan (2.1.5.7) dapat ditransformasikan ke dalam persamaan Laplace (2.1.4.10).

Komponen kecepatan aliran dua dimensi pada bidang xy dinyatakan sebagai

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}$$
$$v = \frac{\partial \phi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

dan dari sini

$$u \frac{\partial y}{\partial y} - v \frac{\partial x}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial y} + \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial x} \quad (2.1.5.8)^{(1)}$$

Ruas kanan persamaan (2.1.5.7) merupakan diferensial lengkap dari ψ . Dengan demikian, untuk garis $\psi = \psi_1 = \text{tetap}$, maka

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial y} + \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial x} = 0 \quad (2.1.5.9)^{(1)}$$

$$u \frac{\partial y}{\partial y} - v \frac{\partial x}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{v}{u}$$

Yang menunjukkan bahwa arah vektor kecepatannya sama dengan arah garis yang menyinggung kurva ψ , dan sama dengan arah garis yang tegak lurus kurva ϕ . Karena hubungan ini, maka fungsi ϕ disebut fungsi potensial kecepatan, dan fungsi ψ disebut fungsi aliran.

2.1.6. ALIRAN PUSARAN

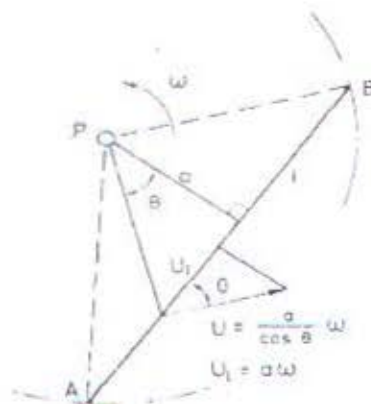
Gerakan benda dapat diurai menjadi dua ragam gerakan translasi dan rotasi. Dalam gerakan translasi hubungan sudut antara benda dengan seperangkat sumbu tidak mengalami perubahan, tetapi benda itu sendiri secara keutuhan dapat saja membuat lintasan dalam bentuk apapun di dalam ruang. Dalam gerakan rotasi

murni, benda mengubah hubungan sudutnya dengan sumbu acuan tanpa mengubah letaknya secara keseluruhan. Dengan bantuan beberapa hubungan yang sederhana studi mengenai gerakan rotasi akan dapat menjadi lebih mudah.

Penggal garis AB yang mempunyai panjang l diputar terhadap titik P yang berjarak a dari garis tersebut (Gb.2.1.6.1). setiap titik pada garis tersebut akan bergerak sebagai busur lingkaran dalam arah yang tegak lurus jari-jari dan dengan kecepatan linier yang merupakan hasil antara jari-jari dan kecepatan sudut ω . Komponen kecepatan sepanjang arah garis itu sendiri tidak tergantung pada letak titik. Integral garisnya menjadi

$$\int_l U dl = \omega a l = 2\omega \times (\text{luas } PAB) \quad (2.1.6.1)^{(1)}$$

Sebuah poligon dapat dibagi-bagi menjadi sejumlah segitiga yang semua puncaknya terletak pada pusat rotasi. Kontur tertutup poligon tersebut dibentuk oleh semua garis yang memenuhi persamaan (2.1.6.1), sehingga integral garis terhadap kontur tersebut merupakan hasil kali luas poligon. Hubungan ini berlaku untuk wujud yang mempunyai kontur berbentuk kurva.



Gambar 2.1.6.1. Rotasi

Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 12

Untuk lingkaran yang berotasi mengelilingi pusatnya, hubungan tersebut adalah

$$\int_l U dl = r \omega 2\pi = 2\pi r^2 \omega = 2\omega \times (\text{luas}) \quad (2.1.6.2)^{(1)}$$

Unsur 2ω disebut rotasi dan dapat diperoleh dengan jalan membagi integral garis dengan luas yang dilingkup oleh kontur.

Integral garis vektor $U = ui + vj$ terhadap elemen luas yang kecil $dx dy$ (Gb. 2.1.6.2) adalah

$$\int_U dl = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) dx dy \quad (2.1.6.3)^{(1)}$$

Istilah rotasi diperkenalkan sebagai

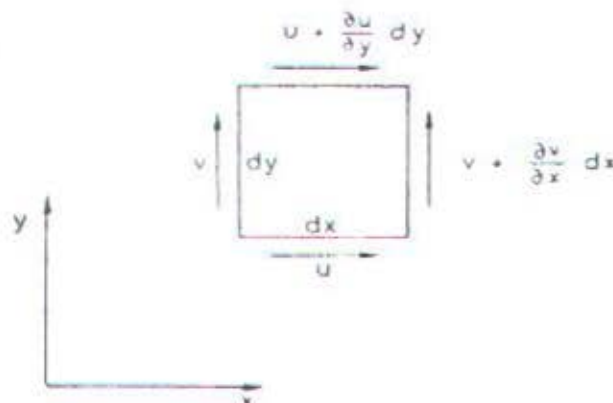
$$\text{rot } U = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.1.6.4)^{(1)}$$

Syarat agar gerakan tidak berotasi sangatlah sederhana, yaitu integral dari (2.1.6.3) ke seluruh medan harus lenyap, yang berarti rotasinya adalah nol.

Untuk suatu medan potensial, persamaan (2.1.4.7), (2.1.5.1), dan (2.1.6.4) memberikan :

$$\frac{\partial \mu}{\partial y} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y \partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} \quad \text{dan} \quad \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (2.1.6.5)^{(1)}$$

Berdasarkan persamaan (2.1.6.4), ruas kiri persamaan (2.1.6.5) sama dengan $\text{rot } U$ yang berarti bahwa dalam aliran potensial tidak terdapat rotasi.



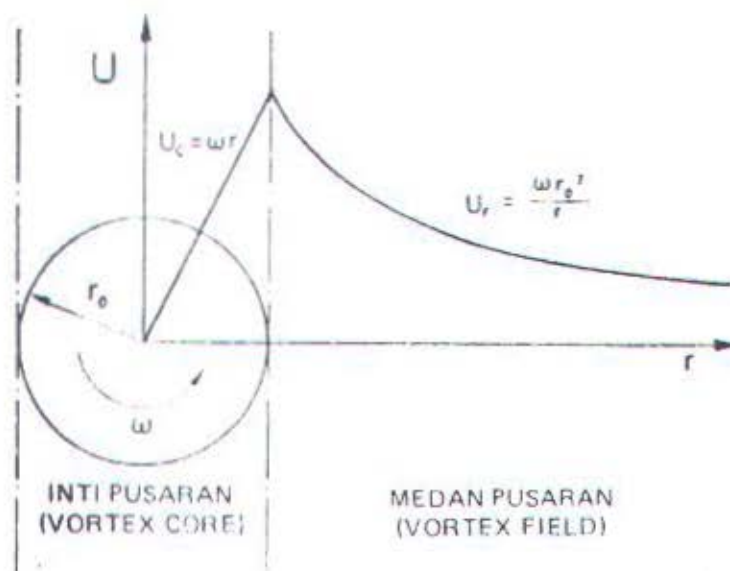
Gambar 2.1.6.2. Elemen kecil $dx dy$ dalam suatu aliran
Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 12

Dalam suatu pusaran (vortex) terdapat sebuah luasan yang berotasi mengelilingi sebuah garis yang dapat berupa garis lurus atau kurva. Luasan ini disebut inti pusaran (Gb. 2.1.6.3). Di luar luasan ini terdapat sebuah luasan yang bersirulasi tetapi tidak berotasi. Luasan ini dinamakan medan pusaran. Di dalam medan pusaran, fluidanya diasumsikan tidak berotasi sebagai lembaran kaku. Jika fluidanya tidak memiliki kekentalan maka semua filamen bundarnya yang berdatangan dapat mempunyai kecepatan sendiri-sendiri atau kecepatan gelincir relatif tanpa tahanan. Medan inti pusaran berotasi menurut hukum lain, misalnya, hukum untuk massa kaku. Dengan demikian maka U_c , yang tegak lurus jari-jari itu, menjadi

$$U_c = \omega r \quad (2.1.6.6)^{(1)}$$

ω adalah kecepatan sudut.

Jika medan pusaran merupakan medan potensial maka dapat dibuktikan (Durrand, 1963, hal. 130) bahwa kecepatannya berbanding terbalik dengan



Gambar 2.1.6.3. Distribusi kecepatan di dalam pusaran
Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 12

jari-jarinya (Gb. 2.1.6.3). Ini berarti bahwa

$$U_F = \frac{C}{r} \quad (2.1.6.7)^{(1)}$$

C adalah suatu konstan. Pada jari-jari maksimum r_0 kecepatan fluida di dalam inti dan medan pusaran harus sama. Ini memberikan

$$\omega r_0 = \frac{C}{r_0}, \text{ yaitu } C = \omega r_0^2 \quad (2.1.6.8)^{(1)}$$

Dan

$$U_F = \frac{\omega r_0^2}{r} \quad (2.1.6.9)^{(1)}$$

Integral garis sepanjang kontur inti pusaran (lihat Gb. 2.1.6.3) adalah

$$\int_0^{2\pi} \omega r_0 r_0 d\theta = 2\omega \pi r_0^2 = 2 \times (\text{luas inti}) \quad (2.1.6.10)^{(1)}$$

Integral garis ini disebut sirkulasi Γ . Unsur 2ω adalah rotasi yang tidak tergantung r . Jika Integral garis tersebut dibuat untuk sepanjang kontur suatu luasan yang mencakup inti pusaran, maka rotasinya sama dengan 2ω . Jika inti tersebut tidak dicakup maka rotasinya adalah nol dan medannya merupakan medan potensial.

2.1.7. SUMBER DAN SINK

Perhitungan aliran dua dimensi dapat dilakukan dengan cara yang berbeda-beda. Dengan demikian maka medan di sekeliling benda padat (pejal) berbentuk sebarang dapat ditentukan dengan menggunakan sumber dan sink. Pembahasan berikut ini akan memberikan kejelasan tentang arti istilah sumber dan sink.

Dua buah bidang tak berhingga diletakkan sejajar dengan jarak yang kecil tak berhingga. Ruang di antara kedua bidang tersebut diisi fluida ideal sehingga di dalam fluida ini gerakan dapat berlangsung tanpa gesekan. Melalui celah kecil tak

berhingga pada salah satu bidang tersebut dimasukkan suatu fluida. Fluida ini akan menimbulkan gerakan di dalam fluida yang terletak di antara kedua bidang tersebut. Dari celah itu akan timbul sejumlah garis aliran yang merentang dalam bentuk berkas sinar. Inilah yang disebut sumber. Jika fluida ditarik keluar dari ruang di antara kedua bidang tersebut melalui celah tadi maka fluida dari semua penjuru akan bergerak menuju celah itu, membentuk sink. Sink dapat dipandang sebagai sumber yang negatif. Jika baik sumber maupun sink keduanya ada maka akan timbul aliran dari sumber ke sink. Kombinasi antara aliran ini dengan aliran seragam dalam arah yang sama dengan arah garis yang menghubungkan sumber dan sink akan menghasilkan suatu medan. Pada medan ini gerakan fluida dari sumber ke sink hanya akan terjadi pada luasan yang terbatas. Jika kurva pembatas luasan ini diganti dengan cangkang (dinding) yang tak tembus, maka di dalam dan di luar cangkang tadi sistem garis aliran tersebut akan tetap sama. Dengan memperbanyak sumber dan sink, serta memvariasikan kekuatan dan kecepatan aliran sejajarnya maka akan diperoleh variasi bentuk cangkang. dengan mencoba-coba maka bentuk yang menyerupai garis air kapal dapat diperoleh.

Kecepatan radial untuk sumber pada medan dua dimensi (lihat Gb. 2.1.7.1) adalah

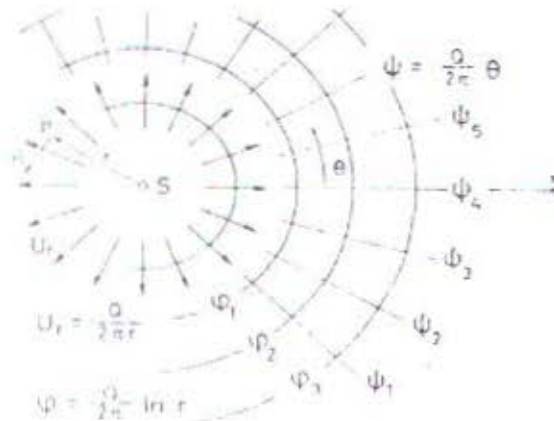
$$U_r = \frac{Q}{2\pi r} = \frac{k}{r} = \frac{\partial \phi}{\partial r} \quad (2.1.7.1)^{(1)}$$

Q adalah kekuatan sumber. Ini berarti bahwa potensial kecepatannya mempunyai harga

$$\phi = \int U_r \, dr = k \ln r \quad (2.1.7.2)^{(1)}$$

Penurunan persamaan ini ke arah tegak lurus jari-jari, misalnya ke arah n , memberikan :

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} = 0 \quad (2.1.7.3)^{(1)}$$



Gambar 2.1.7.1. Medan sekeliling sumber S

Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 13

Dengan demikian maka fungsi aliran ψ adalah

$$\psi = \frac{Q}{2\pi} \theta = k\theta \quad (2.1.7.4)^{(1)}$$

karena

$$\frac{\partial \psi}{\partial n} = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial \theta} = -k = U_r$$

Selanjutnya,

$$\frac{\partial \psi}{\partial r} = 0 \quad (2.1.7.5)^{(1)}$$

Harga ϕ dan ψ untuk sink dapat diperoleh dengan cara yang sama.

Fungsi potensial kecepatan didefinisikan sebagai fungsi yang turunannya merupakan kecepatan yang arahnya di dalam ruang sama dengan arah yang dipakai untuk menurunkan fungsi tersebut. Definisi ini berlaku baik untuk medan



dua maupun untuk tiga dimensi. Tidak demikian halnya dengan fungsi aliran ψ . Hanya dalam hal khusus saja fungsi ψ dapat dijumpai pada aliran tiga dimensi.

Fungsi potensial φ untuk sumber dalam medan tiga dimensi dapat ditentukan secara

$$\frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{q}{4\pi r^2}, \text{ memberikan } \varphi = \frac{q}{4\pi r} \quad (2.1.7.6)^{(1)}$$

Fungsi aliran dapat didefinisikan sebagai jumlah laju aliran di antara dua buah permukaan atau lembaran aliran yang dibentuk oleh serangkaian garis aliran. Jika suatu medan aliran memiliki sumbu simetris berupa garis lurus maka hubungan antara kecepatan di dalam medan itu dengan fungsi ψ akan mempunyai bentuk yang sangat sederhana. Jika sumbu simetri tersebut adalah sumbu x , jarak antara kedua permukaan tersebut pada posisi sejauh y dari sumbu x adalah ds (Gb. 2.1.7.2), dan kecepatan aliran yang tegak lurus ds adalah U_1 maka laju alirannya adalah

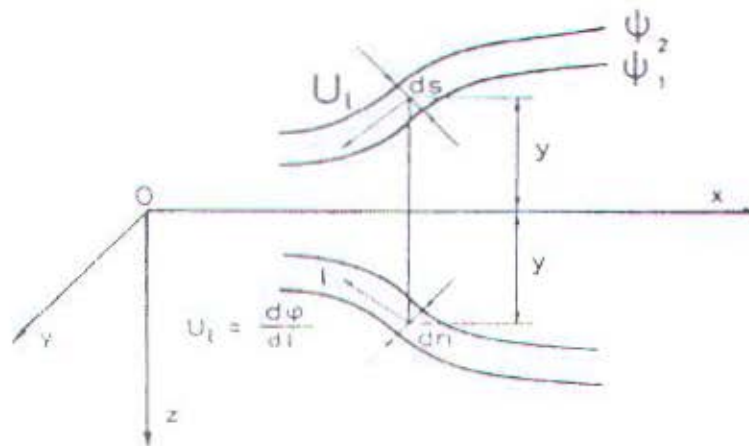
$$\partial \psi = U_1 2\pi y \partial s \quad (2.1.7.7)^{(1)}$$

dan

$$U_1 = \frac{1}{2\pi y} \frac{\partial \psi}{\partial n} \quad (2.1.7.8)^{(1)}$$

Dengan cara lain (lihat Gb. 2.1.7.2) dapat dinyatakan

$$\frac{\partial \varphi}{\partial l} = \frac{1}{2\pi y} \frac{\partial \psi}{\partial n} \quad (2.1.7.9)^{(1)}$$



Gambar 2.1.7.2. Aliran tiga dimensi dengan sebuah sumbu simetri
Sumber: Sv.Aa.Harvald, Tahanan dan Propulsi Kapal 1983 hal 14

Jika $l = r$ maka untuk aliran dari sumber (lihat Gb. 2.1.7.3) akan didapatkan

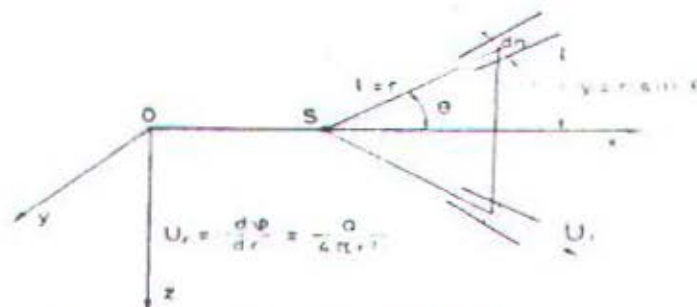
$$\frac{\partial \phi}{\partial r} = \frac{Q}{4\pi r^2} = \frac{1}{2\pi \sin \theta} \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \quad (2.1.7.10)^{(a)}$$

dan

$$\begin{aligned} \partial \psi &= \frac{Q}{2} \sin \theta \partial \theta \\ \psi &= \left| -\frac{Q}{2} \cos \theta \right|_0^\theta \end{aligned} \quad (2.1.7.11)^{(a)}$$

atau

$$\psi = \frac{Q}{2} (1 - \cos \theta) \quad (2.1.7.12)^{(a)}$$



Gambar 2.1.7.3. Aliran tiga dimensi dari sumber
Sumber: Sv.Aa.Harvald, Tahanan dan Propulsi Kapal 1983 hal 15

Jadi persamaan (2.1.7.12) memberikan fungsi aliran untuk sumber (atau sink) dalam aliran tiga dimensi dengan satu sumbu simetri.

Dalam model matematis tertentu, pemakaian sumber dan sink dalam bentuk garis atau dalam bentuk bidang dapat memberikan kemudahan. Sumber berbentuk garis mempunyai pengertian sebagai sepotong garis yang mempunyai sumber yang kecil tak berhingga dalam jumlah yang banyak tak berhingga. Sepanjang garis itu, intensitas kekuatan sumber tersebut dapat bervariasi atau dapat pula tetap.

Sumber berbentuk bidang berarti sebuah permukaan kecil yang mempunyai sumber yang kecil tak berhingga dalam jumlah yang banyak tak berhingga. Di sinipun intensitas kekuatan sumber pada permukaan tersebut dapat bervariasi atau dapat pula tetap.

2.1.8. ALIRAN BERBENTUK KAPAL

Dalam bagian ini akan dibahas beberapa metode matematis yang sederhana untuk menghitung aliran di sekitar bidang berbentuk kapal.

2.1.8.1. Sumber dan Sink Dua Dimensi

Bentuk aliran disekitar benda berbentuk silindris yang mempunyai ujung depan dan belakang yang serupa (aliran dua dimensi) dapat dihitung dengan memakai sumber, sebagaimana disebutkan di Bab 2, Sub 2.1.7. Metode yang dikembangkan pertama kali oleh **Rankine** (1864) dan kemudian disederhanakan oleh **Taylor** (1894) akan disinggung di sini.

Dalam medan yang dihasilkan oleh sumber n , fungsi aliran pada titik P [lihat Gb. 2.1.7.1 dan persamaan (2.1.7.4)] akan mempunyai harga

$$\psi_n = k_n \theta_n = \frac{Q_n}{2\pi} \theta_n \quad (2.1.8.1)^{(1)}$$

θ_n adalah sudut antara x dengan garis yang menghubungkan sumber dengan titik P , dan Q_n adalah kekuatan sumber yang dapat dinyatakan dengan kecepatan aliran U_n pada titik P sebagai

$$Q_n = 2\pi r_n U_n \quad (2.1.8.2)^{(1)}$$

r_n merupakan jarak antara sumber dan P . Jika terdapat beberapa sumber maka fungsi aliran di P akan mempunyai harga

$$\psi = \sum_1^N k_n \theta_n = k_1 \sum_1^N q_n \theta_n = k_1 S \quad (2.1.8.3)^{(1)}$$

q_n adalah faktor kekuatan relatif sumber dan N adalah jumlah sumber seluruhnya. Persamaan untuk sink (sumber yang negatif) dapat pula dihasilkan.

Untuk medan aliran sejajar yang mempunyai kecepatan u_0 yang sejajar dengan sumbu x maka fungsi aliran pada P [lihat persamaan (2.1.4.11)] akan menjadi

$$\psi = u_0 y \quad (2.1.8.4)^{(1)}$$

y adalah jarak dari titik tersebut ke sumbu x .

Penggabungan medan sumber-sink dengan medan aliran sejajar yang mempunyai kecepatan $-u_0$, ψ menghasilkan

$$\psi = k_1 S - u_0 y \quad (2.1.8.5)^{(1)}$$

Karena fungsi aliran dari garis aliran, yaitu garis yang membagi aliran menjadi aliran dalam dan aliran luar, serta yang bergerak sepanjang sumbu x di luar luasan ini, sama dengan nol maka dindingnya adalah

$$0 = k_1 S - u_0 y \quad (2.1.8.6)^{(1)}$$

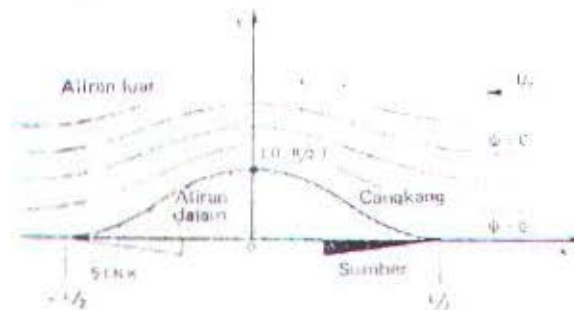
Kecepatan dalam arah sumbu x pada sebarang titik merupakan kecepatan yang diinginkan. Untuk keperluan ini maka kita pakai persamaan berikut ini :

$$u_x = \frac{\partial \psi}{\partial y} = k_1 \frac{\partial S}{\partial y} - u_0 \quad (2.1.8.7)^{(d)}$$

Untuk sumber, konstan kekuatan aliran diperoleh dengan memakai harga B , lebar bentuk (Gb.2.1.8.1), yang tetap dan persamaan tersebut di atas untuk $\psi = 0$, persamaan (2.1.8.6) :

$$k = \frac{B/2}{S_M} u_0 \quad (2.1.8.8)^{(d)}$$

S_M adalah harga S pada titik $x = 0$, $y = B/2$. Dengan demikian maka kita dapatkan



Gambar 2.1.8.1. Gambar aliran
Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 16

$$u_x = k_1 \frac{\partial S}{\partial y} - u_0 = -u_0 \left(1 - \frac{B/2}{S_M} \frac{\partial S}{\partial y} \right) \quad (2.1.8.9)^{(d)}$$

kecepatan di titik sebarang dalam medan tersebut.

Dengan demikian maka perhitungan medan dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Memilih distribusi sumber dan sink.

Sumber dan sink diletakkan secara simetris pada sumbu x , sebelah menyebelah di pusat sumbu, dari $x = -L/2$ hingga $L/2$. kemudian kekuatannya divariasikan menurut kurva yang sederhana. Untuk

memvariasi bentuk kurva batas tersebut tidak perlu memakai distribusi yang rumit.

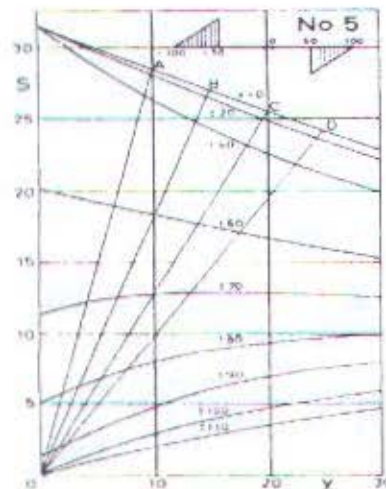
2. Setelah distribusi sumber dan sink ditentukan, kemudian dihitung fungsi aliran di beberapa titik pada luasan tersebut. Karena simetris, hanya titik yang berada di kuadran pertama saja yang diperlukan. Sebagai contoh, fungsi aliran di titik yang berada di luasan berikut ini dapat dihitung.

$$0 \leq x \leq 1,1L \quad \text{dan} \quad 0 \leq y \leq 0,3L$$

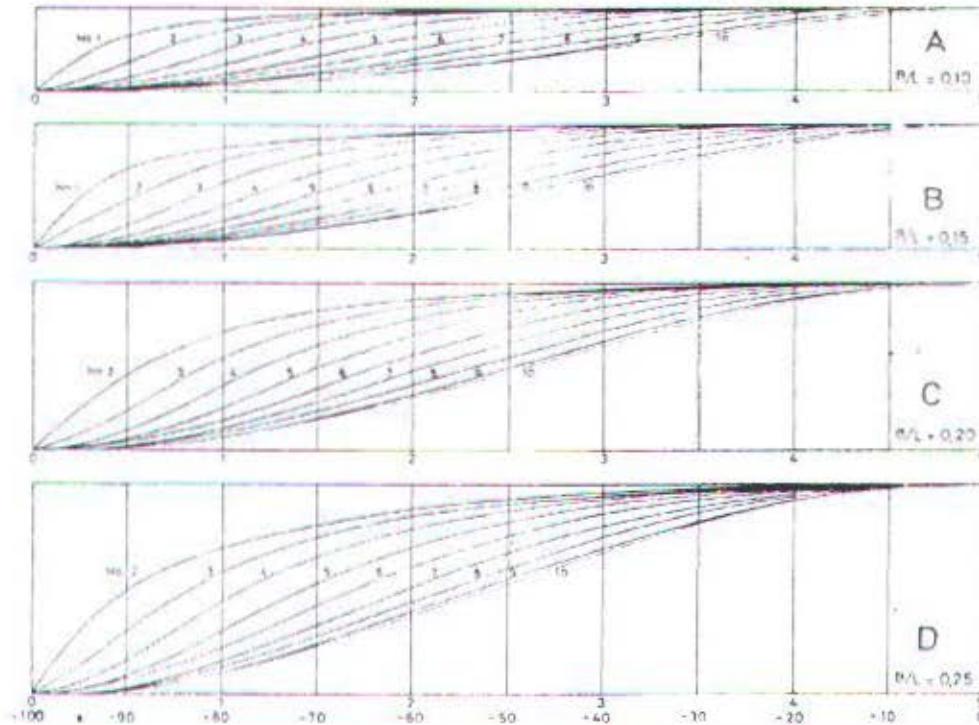
3. Setelah fungsi aliran pada titik yang dipilih diperoleh, maka diagram yang ditunjukkan pada Gb. 2.1.8.2 dapat digambar. Aksis diagram ini adalah titik sistem aliran tersebut dan ordinatnya merupakan fungsi alirannya. Distribusi sumber dan sink ditunjukkan pada diagram di kanan atas. Kurva pada diagram tersebut menunjukkan variasi fungsi stream terhadap jarak dari sumbu x untuk harga x yang berbeda-beda.
4. Pada diagram S - y tersebut, persamaan (2.1.8.6) menggambarkan garis lurus yang memancar mulai dari titik nol. Rasio lebar - panjang $B/L = 0,10, 0,15, 0,20$ dan $0,25$ mencakup harga rasio untuk kapal normal, dan rasio ini dapat disisipkan pada diagram tersebut. Titik potong antara garis ini dengan kurva merupakan ordinat kurva batas yang berarti ordinat bentuk garis air. Garis air untuk No.5 berikut garis air untuk distribusi sink lainnya untuk keempat harga B/L tersebut diatas ditunjukkan dalam Gb. 2.1.8.3. Distribusi kekuatan sumber-sink mempunyai bentuk segitiga, sebagaimana ditunjukkan pada Gb. 2.1.8.2.
5. Koordinat untuk garis aliran ($\psi = \text{tetap}$) dapat dicari dengan menggambarkan garis yang dihasilkan dari pers. (2.1.8.5) pada diagram S -

y tersebut-yaitu garis yang sejajar dengan garis yang merupakan kontur cangkang.

6. Akhirnya, kecepatan pada sebarang titik dapat dihitung dengan memakai pers. (2.1.8.9). Harga turunnya dS/dy dicari secara grafis (memakai kurva $S-y$, langkah 3) atau secara numerik.
7. Dengan memvariasikan distribusi sumber-sink dan memvariasikan kecepatan medan aliran sejajar, medan dua dimensi di sekeliling benda padat dengan berbagai bentuk yang berbeda dapat diperoleh.



Gambar 2.1 8.2. Diagram $S-y$ untuk dua aliran dimensi
Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 16



Gambar 2.1.8.3. Garis air untuk silinder yang dibuat dengan memakai distribusi sumber-sink, seri I pada Harvald hal 17

2.1.8.2. Sumber dan Sink Tiga Dimensi

Perhitungan untuk aliran tiga dimensi sepanjang kisaran benda pada (pejal) pada dasarnya dapat dilakukan dengan cara yang sama seperti yang dipakai dalam aliran dua dimensi. Distribusi sumber - sink dipilih dan diletakkan pada sumbu x , sebelah menyebelah di pusat sumbu. Fungsi aliran dititik P diperoleh dari persamaan (2.1.7.12)

$$\psi = \sum_{n=1}^N k_n \cos \theta_n = k_1 S \quad (2.1.8.10)^{(1)}$$

θ_n adalah sudut antara sumbu x dengan garis yang menghubungkan sumber (lihat Gb. 2.1.7.3) dengan titik P , k_n adalah faktor yang berbanding luas dengan titik kekuatan sumber, dan N adalah banyaknya sumber. Perhatikan bahwa persamaan tersebut serupa dengan persamaan untuk aliran dua dimensi, hanya saja θ_n diganti dengan $\cos \theta_n$.

Untuk medan aliran sejajar di dalam ruang, dengan memakai persamaan (2.1.7.8) maka fungsi aliran dititik P yang berjarak $r = \sqrt{y^2 + z^2}$ dari sumbu x akan mempunyai harga

$$\psi = \frac{1}{2} u_0 (y^2 + z^2) \quad (2.1.8.11)^{(1)}$$

U_0 adalah kecepatan yang diasumsikan sejajar sumbu x . Karena simetris terhadap sumbu ini, maka P dapat dibayangkan sebagai titik yang terletak di bidang xy , sehingga

$$\psi = \frac{1}{2} u_0 y^2 \quad (2.1.8.12)^{(1)}$$

Penggabungan medan sumber - sink dengan medan aliran sejajar memberikan

$$\psi = k_1 S - \frac{1}{2} u_0 y^2 \quad (2.1.8.13)^{(1)}$$

Dengan demikian maka persamaan untuk kurva batas menjadi

$$0 = k_1 S - \frac{1}{2} u_0 y^2 \quad (2.1.8.14)^{(1)}$$

Jika lebar kisaran benda padat adalah B , maka konstanta kekuatan sumber k_1 adalah

$$k_1 = \frac{y^2}{2S} u_0 = \frac{(B/2)^2}{2S_M} u_0 \quad (2.1.8.15)^{(1)}$$

S_M adalah harga S pada titik $x = 0, y = B/2$. Distribusi kecepatan dalam medan yang berada disekeliling kisaran benda padat dapat ditentukan dengan pers. (2.1.7.8)

$$\begin{aligned} U/x &= \frac{1}{y} \frac{d\psi}{dy} = \left(k_1 \frac{dS}{dy} - u_0 y \frac{1}{y} \right) \\ &= -u_0 \left(1 - \frac{(B/2)^2}{2S_M y} \frac{dS}{dy} \right) \end{aligned} \quad (2.1.8.16)^{(1)}$$

Dalam praktek, perhitungan untuk medan di sekeliling kisaran benda padat dilakukan dengan tepat memakai cara yang sama dengan yang dipakai untuk

perhitungan medan dua dimensi di sekeliling silinder (lihat langkah 1-7 pada Bab 2, Sub 2.1.8.1).

Penulis memakai metode sumber-sink tersebut untuk menghitung arus ikut potensial dari berbagai kapal barang (Harvald, 1950).

Metode yang sama umum untuk menghitung aliran potensial yang tidak dapat dimampatkan telah dikembangkan oleh **Hess** dan **Smith** (1966). Distribusi yang dipakai metode tersebut adalah distribusi tunggal pada seluruh permukaan benda, dan densitas distribusi sumbernya diperoleh dari hasil penyelesaian suatu persamaan integral.

2.1.8.3. Transformasi Konformal

Penerapan transformasi konformal sering memudahkan studi mengenai gerakan fluida dalam medan dua dimensi. Bila alirannya merupakan aliran bidang (planar), tidak berotasi, dan tidak dapat dimampatkan, maka sifat medan gerakan fluida tersebut sangat ditentukan oleh potensial kecepatannya ϕ dan fungsi arusnya ψ , atau gabungan dari keduanya-fungsi potensial w . Jika medan tersebut pasti mengalami transformasi konformal maka bentuk geometris medan itu dapat diubah seluruhnya. Medan yang pertama kali dipetakan selengkapnya dengan garis aliran dan garis ekuipotensialnya, dapat ditransformasikan seluruhnya secara transformasi konformal ke dalam medan aliran kedua yang memiliki persyaratan fisik dan sifat yang sama seperti medan yang pertama tadi. Medan aliran sejajar A bisa saja ditransformasikan dulu ke dalam medan B yang berada di sekeliling silinder (lihat sketsa dalam Gb. 2.1.8.4) dan kemudian medan B ini ditransformasikan ke dalam medan C yang berada di sekeliling penampang sayap (wing section). Selanjutnya dengan cara transformasi yang sama dengan yang

dipakai untuk mengubah medan A ke dalam medan B pada medan C tersebut, dan memilih pusat transformasi tidak jauh di penampang sebelah sayap, maka dapat diperoleh medan D . Dengan menerapkan transformasi yang dipakai untuk mengubah B ke dalam C pada D , maka dapat dihasilkan medan E yang merupakan medan yang ditempati oleh benda padat yang berbentuk daun kemudi dan berada di belakang benda padat yang menyerupai bentuk kapal.

Aliran sejajar yang lurus dinyatakan dengan kecepatan

$$u = -U \quad \text{dan} \quad v = 0 \quad (2.1.8.17)^{(1)}$$

fungsi potensial kecepatannya,

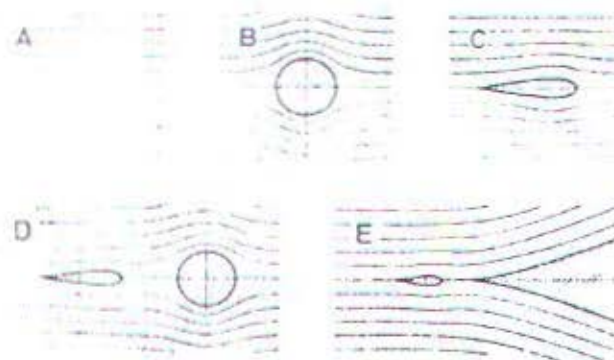
$$\phi = -Ux \quad (2.1.8.18)^{(1)}$$

fungsi arusnya,

$$\psi = -Uy \quad (2.1.8.19)^{(1)}$$

dan fungsi potensialnya,

$$w = \phi + i\psi = -U(x + iy) = -Uz \quad (2.1.8.20)^{(1)}$$



Gambar 2.1.8.4. Sketsa yang menunjukkan sistem garis aliran yang diperoleh secara transformasi konformal

Sumber: Sv.Aa.Harvald, Tahanan dan Propulsi Kapal 1983 hal 18

Untuk aliran yang mengelilingi silinder bundar yang berjari-jari a (lihat Durrand, 1963, hal. 155) kita dapatkan

$$\begin{aligned}\phi &= -Ux \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) \\ \psi &= -Uy \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) \\ w &= -U \left(z + \frac{a^2}{z} \right)\end{aligned}\quad (2.1.8.21)^{(1)}$$

$r^2 = x^2 + y^2$. Dengan memakai transformasi

$$Z = z + \frac{a^2}{z} \quad (2.1.8.22)^{(1)}$$

pada medan di sekeliling silinder maka didapatkan medan aliran sejajar. Transformasi dapat saja dilakukan mundur sekalipun dari segi matematis hitungan mundur demikian itu lebih sulit untuk dilakukan.

Dengan menerapkan transformasi (2.1.8.22) pada medan B - setelah menggeser sedikit letak titik pusat transformasi dalam arah sumbu x maka akan diperoleh aliran di sekeliling profil simetris tersebut akan dapat dihasilkan berbagai bentuk yang berbeda. Dengan kata lain, garis aliran di sekeliling silinder, medan B ditransformasikan ke medan C dengan memakai persamaan

$$\begin{aligned}X &= \left[1 + \frac{b^2}{(x+e)^2 + y^2} \right] (x+e) \\ Y &= \left[1 - \frac{b^2}{(x+e)^2 + y^2} \right] y\end{aligned}\quad (2.1.8.23)^{(1)}$$

Dengan memakai rumus (2.1.8.23) maka koordinat (X, Y) untuk semua titik pada garis aliran dalam medan B akan diubah ke koordinat (X, Y) untuk garis yang bersangkutan dalam medan C . Untuk mendapatkan medan D yang konvergen, maka transformasi medan A ke medan B dapat dipakai sekali lagi, tetapi kali ini

pada medan C dengan pusat transformasi di sebelah kanan profil. Akhirnya, menerapkan transformasi medan B ke medan C pada medan D akan menghasilkan medan E .

Transformasi dapat dilakukan dengan memakai komputer atau grafik. Dengan terlebih dahulu memakai metode grafik maka akan diperoleh diagram lengkap untuk aliran di sekeliling silinder bundar (pada dasarnya sama dengan medan B dalam Gb. 2.1.8.4). Dalam diagram ini, jarak antara kurva fungsi potensial kecepatan yang satu dengan yang lainnya, maupun antara kurva fungsi aliran yang satu dengan yang lain dibuat rapat (Gb. 2.1.8.5). Selanjutnya transformasi medan C ke medan D dapat dilakukan sebagai berikut :

Baca koordinat x dan y untuk sebarang titik pada bidang C , misalnya, berbagai titik pada garis kontur dan pada garis aliran. Dengan memakai koordinat ini sebagai harga untuk $\phi (= X)$ dan $\psi (= Y)$ dalam diagram transformasi (Gb. 2.1.8.5), maka harga koordinat x dan y yang akan dipakai pada bidang D akan diperoleh, sehingga sistem garis aliran yang baru dapat digambarkan. Jelas bahwa diagram transformasi dapat dipakai untuk mantransformasikan medan A ke medan B (Gb. 2.1.8.4).

2.1.8.4. Persamaan Laplace

Satu lagi metode perhitungan yang lain yang perlu dibahas di sini.

Metode ini dapat dipakai baik untuk aliran dua maupun tiga dimensi, tetapi untuk aliran tiga dimensi diperlukan perhitungan komputer yang sangat lama. Karena itu, hanya perhitungan dua dimensi saja yang akan dibahas di sini.

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, persamaan kontinuitas Laplace untuk fluida yang tidak dapat dimampatkan dalam aliran dua dimensi, dalam koordinat Cartesius biasa, menjadi (persamaan 2.1.4.9)

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (2.1.8.24)^{(1)}$$

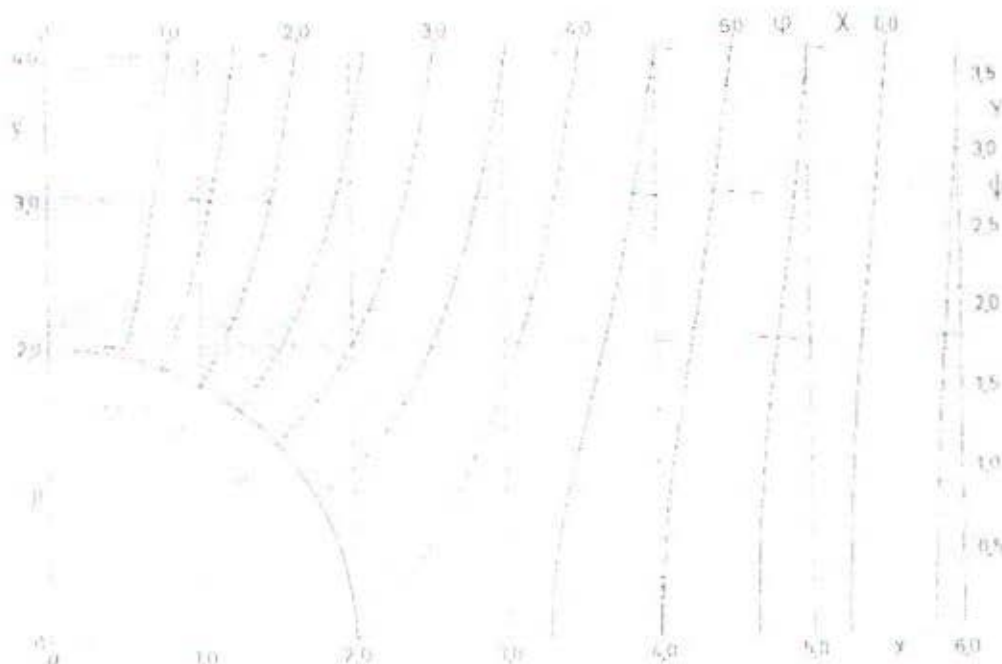
ϕ adalah fungsi potensial kecepatan.

Komponen kecepatan x dan y menjadi

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad \text{dan} \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (2.1.8.25)^{(1)}$$

Jika luasan tempat berlangsungnya aliran dibagi-bagi dalam sejumlah elemen (lihat Gb. 2.1.8.6) maka banyaknya fluida yang mengalir melalui sebuah elemen dapat dihitung sebagai

$$Q = \lambda \frac{a}{l} \Delta \phi \quad (2.1.8.26)^{(1)}$$



Gambar 2.1.8.5. Diagram transformasi (aliran di sekeliling silinder)
Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 20

λ = daya hantar elemen (diasumsikan 0 dan 1)

a = luas penampang elemen (untuk aliran dua dimensi luas ini sama dengan lebar elemen)

l = panjang elemen

$\Delta\phi$ = beda potensial antara satu ujung dengan ujung lainnya pada elemen

Luasan tersebut dipisah dalam dua arah yang saling tegak lurus.

Dengan asumsi bahwa persamaan Laplace harus dapat dipenuhi dan

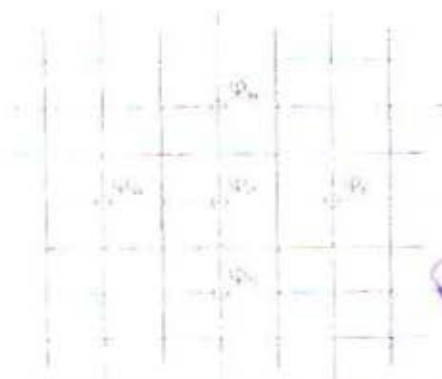
$$\lambda \frac{a}{l} = \rho \quad (2.1.8.27)$$

berlaku untuk titik dimanapun, maka didapatkan

$$\phi_p = \frac{\rho_{N\phi N} + \rho_{E\phi E} + \rho_{S\phi S} + \rho_{W\phi W}}{\rho_N + \rho_E + \rho_S + \rho_W} \quad (2.1.8.28)$$

Medan aliran tersebut diasumsikan sebagai jala kawat dengan anyaman segi empat. Aliran yang melewati setiap kawat pada jala itu merupakan aliran satu dimensi dan tergantung pada ukuran serta daya hantar kawat dan beda potensial antar ujung kawat (lihat persamaan 2.1.8.26). Jala kawat tersebut ditunjukkan pada Gb.2.1.8.6. sebagai garis putus dan titik.

Prosedur berikut ini dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah tersebut :
Luasan aliran harus diberi pembatas, kemudian dibagi-bagi menjadi sejumlah jalur yang saling tegak lurus. Pada pertengahan masing-masing jalur kemudian disisipkan sebuah kawat.



Gambar 2.1.8.6. Jala yang dipakai untuk menghitung potensial kecepatan
Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 20

Dengan demikian, maka dihasilkan jala segi empat yang dapat dipakai untuk menentukan aliran. Konstan kawat untuk semua elemen kawat dihitung dengan memakai persamaan (2.1.8.27). Setelah itu lalu dipilih harga fungsi potensial untuk setiap titik, dan kemudian disisipkan syarat batasnya. Setelah diperoleh distribusi potensial yang baik dari perhitungan ϕ_P untuk setiap titik dengan memakai persamaan (2.1.8.28), maka selanjutnya dilakukan perhitungan dengan memakai metode pengenduran (relaksasi). Kemudian dilakukan koreksi berulang-ulang terhadap harga potensial (ϕ_{PA} diganti dengan ϕ_{PB}) di dalam semua kisi secara berturut-turut, dan perhitungan selesai jika telah dicapai kesesuaian yang memadai. Konvergensi yang lebih cepat dapat diperoleh dengan cara menggantikan

$$\phi_{PA} \text{ dengan } \phi_{PA} + \omega(\phi_{PB} - \phi_{PA}) \quad (2.1.8.29)^{(1)}$$

ω adalah faktor pengenduran. Faktor ini sangat menentukan lamanya waktu yang diperlukan untuk perhitungan. Faktor pengenduran optimum berkisar antara 1 dan 2 dan tergantung, di antaranya, pada bentuk luasan yang dihitung. Karena terbatasnya kapasitas komputer, alasan ekonomis, dan juga terbatasnya jumlah

jam orang dan mesin yang dilibatkan dalam perhitungan, maka dalam kaitannya dengan medan aliran dipakai asumsi berikut ini :

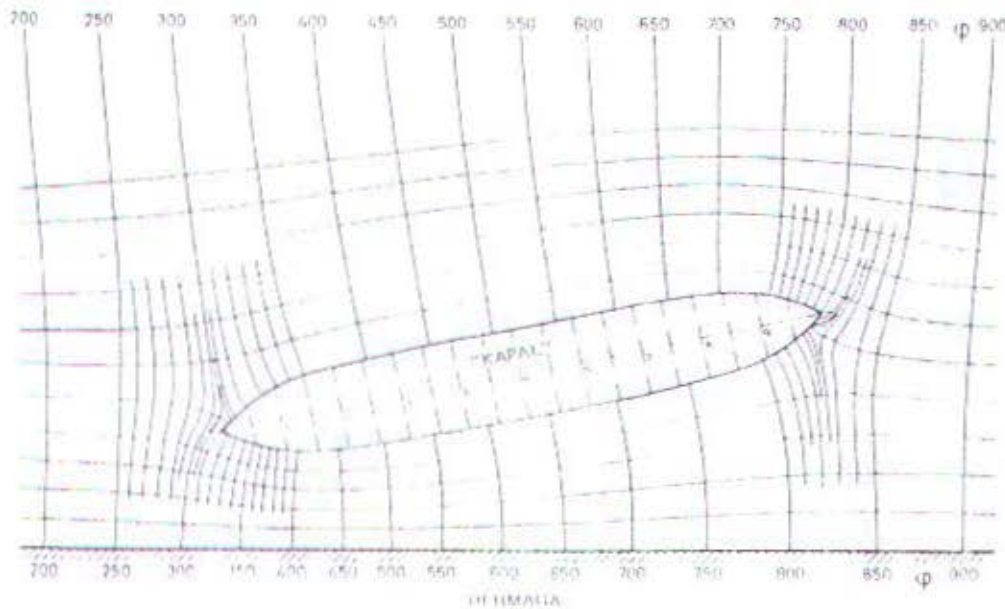
1. Semua kurva untuk harga konstan ϕ yang terletak pada jarak tertentu di depan dan di belakang kapal (silinder) merupakan garis lurus, dan tegak lurus arah aliran (misalnya, dalam Gb. 2.1.8.7. masing-masing $\phi = 0$ dan $\phi = 1000$).
2. Potensial kecepatan yang berada pada jarak tertentu dari kapal dan sejajar arah gerakan (atau arah aliran) divariasikan secara linier.
3. Kawat tanpa daya hantar dapat dipakai untuk mendefinisikan bentuk kapal (penampang silinder) dengan tepat.

Semua harga potensial yang dihasilkan dari perhitungan harus dimasukkan ke dalam gambar jala pada tempatnya masing-masing, dan semua garis ekuipotensial harus digambar berdasarkan itu. Selanjutnya, garis aliran harus dibuat sebagai garis yang tegak lurus garis potensial (lihat Gb. 2.1.4.1). Hasil perhitungan yang dilakukan dengan cara yang demikian itu ditunjukkan dalam Gb. 2.1.8.7.

Kecepatan sepanjang permukaan silinder dapat ditentukan dengan

$$U_s = \frac{\partial \phi}{\partial s} \quad (2.1.8.30)^{(1)}$$

s adalah panjang elemen permukaan silinder. Kurva ϕ sebagai fungsi s sepanjang



Gambar 2.1.8.7. Garis alir untuk "kapal" yang bergerak sepanjang "dermaga"
Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 21

permukaan silinder dapat di gambar dan U_s dapat ditentukan melalui penurunan.

Persamaan Bernoulli memberikan

$$p - p_0 = \frac{1}{2} \rho (U_0^2 - U_s^2) \quad (2.1.8.31)^{(1)}$$

$$\frac{p - p_0}{\frac{1}{2} \rho U_0^2} = 1 - \left(\frac{U_s}{U_0} \right)^2 = 1 - \left(\frac{\partial \phi / \partial s}{U_0} \right)^2 \quad (2.1.8.32)^{(1)}$$

p = tekanan pada permukaan silinder

p = tekanan pada jarak yang tak berhingga dari silinder

ρ = massa jenis

U_0 = kecepatan aliran (kecepatan "kapal")

Dengan cara ini maka hisapan yang terjadi di antara kapal dan dermaga dapat dihitung.

2.1.9. TINGKAT PERKEMBANGAN

Beberapa model matematis sederhana telah dibahas dalam bab ini. Dalam bab berikutnya model lainnya akan disinggung dan dipakai. Tetapi sebelum

mengakhiri pembahasan umum mengenai model matematis yang terkait dengan tahanan dan propulsi kapal, perlu kiranya diberikan ringkasan singkat.

Untuk fluida tanpa gesekan dan tidak dapat dimampatkan, model matematis yang sangat efektif untuk menghitung aliran yang tak berotasi dan aliran pusaran dalam dua dimensi dapat dibuat. Model matematis untuk gerakan dalam tiga dimensi agak lebih sulit pembuatan dan pemakaiannya. Khususnya untuk perhitungan gerakan kapal, hal ini sangat sulit dilakukan karena air laut bukan merupakan fluida tanpa gesekan, dan gerakan berlangsung pada batas antara air dan udara. Model matematis masih sering sangat rumit, bahkan kadang-kadang terlalu rumit untuk komputer yang terbesar dewasa ini sekalipun. Oleh karena itu, model fisik masih tetap diperlukan untuk meramalkan perilaku kapal baru.

2.2. Tahanan Kapal

2.2.1. Pembagian Tahanan Wahana Laut

Tahanan kapal merupakan gaya dari fluida yang melawan pergerakan kapal. Tahanan kapal sendiri merupakan gabungan dari beberapa komponen Tahanan sehingga dalam analisa umumnya Tahanan kapal yang telah mencakup keseluruhan komponen Tahanan disebut **Tahanan Total**. Secara umum **Tahanan Total** terbentuk atas 2 komponen Tahanan yaitu **Tahanan Gesek (R_f)** dan **Tahanan Tekanan (R_p)**. Pada **Tahanan Tekanan (R_p)** sendiri juga terbentuk atas sub-komponen lagi yaitu **Tahanan Gelombang (R_w)** dan **Tahanan Tekan Viskos (R_E)**. Sedangkan gabungan antara **Tahanan Gesek (R_f)** dengan **Tahanan Tekan viskos (R_E)** membentuk kelompok Tahanan yang disebut **Tahanan Viskos (R_{vis})**. Komponen-komponen Tahanan tersebut terlihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 2.2.1.1 – Pembagian Komponen Tahanan

Disamping beberapa komponen dasar Tahanan Total di depan masih terdapat komponen lain yang turut memberikan kontribusi diantaranya **Tahanan Eddy**, **Tahanan Appendages**, **Tahanan Spray Drag** dan **Tahanan Udara/Angin**. Penjelasan mengenai sebab timbulnya serta dasar pengelompokan ini akan di bahas pada bagian berikut ini.

2.2.2. Dasar Pembagian Tahanan Wahana Laut

Pada uraian diatas telah disampaikan dengan jelas mengenai pembagian Tahanan. Berikut ini merupakan dasar dari diadakannya pembagian tersebut:

1. Tahanan Gesek (R_f)

Tahanan ini merupakan Gaya Tangensial yang di hasilkan dari integrasi Gaya Tangensial pada keseluruhan Lambung Wahana Laut. Tahanan ini mengakomodasi Tahanan akibat dari luasan basah Wahana Laut yang bergesekan dengan fluida yang dilewatinya.

ITTC (International Towing Tank Conference) menuliskan bahwa Tahanan Total kapal terdiri dari Komponen Tahanan Viscous (tergantung bilangan

Reynolds) dan Tahanan Gelombang (tergantung bilangan Froude), sehingga dapat di gambarkan dengan persamaan berikut:

$$R_T(Fn, Rn) = R_W(Fn) + R_F(Rn) = R_W(Fn) + (1+k)R_F(Rn) \quad (2.2.1.1)^{(2)}$$

Tahanan gelombang mengandung komponen invicid dan Tahanan viscous adalah Tahanan yang di sebabkan oleh shear stress (friction drag) dan viscous pressure component, secara praktis Tahanan viscous biasanya di estimasi dengan menggunakan korelasi garis (C_F) ITTC 1957, selanjutnya bersama-sama dengan faktor bentuk yang sesuai $(1+k)$. C_F adalah pendekatan dari skin friction sebuah pelat datar dari faktor bentuk yang di gunakan adalah termasuk efek dari Hull Shape pada pembentukan lapisan batas (Boundary Layer growths) dan Viscous Pressure Drag Component. Untuk unit kapal dengan bilangan Reynold yang rendah terlihat harga Tahanan akibat gesekan adalah yang paling dominan, sehingga formulasi empiris dari ITTC tersebut dapat di tuliskan sebagai berikut:

$$C_F = 0,075 / (\log Rn - 2)^2 + 0,0004 \quad (2.2.1.2)^{(2)}$$

Dimana faktor 0,0004 adalah penambahan Tahanan (Allowance) yang di berikan oleh ITTC dengan mempertimbangkan efek kekasaran badan kapal. Sehingga dapat dituliskan hubungan antara karakteristik Tahanan kapal dengan kecepatan kapal adalah sebagai hubungan kuadratik adalah sebagai berikut:

$$R = \alpha * V^2 \quad (2.2.1.3)^{(2)}$$

2. Tahanan Tekanan (R_p)

Tahanan ini merupakan hasil fenomena beda Tekanan pada bentuk Lambung yang melewati fluida. Pembagian terhadap Tahanan Tekanan

(Rp) karena masih terdapat unsur di bawahnya yang pada penelitian selanjutnya berperan besar dalam memberikan kontribusi yaitu Tahanan Gelombang (Rw)

3. Tahanan Gelombang (Rw)

Teori yang mendukungnya adalah *Source and Sink* dimana untuk tiap titik di sepanjang Lambung Wahana Laut dimungkinkan memiliki perbedaan Tekanan. Hal ini disebabkan oleh *Bentuk Penampang Lambung pada garis air yang berbentuk Carene*.

4. Tahanan tekan Viskos (RE)

Tahanan ini disebabkan oleh *Beda Tekanan* yang terjadi akibat adanya *Boundary Layer dan Wake*.

5. Tahanan Viskos (Rvis)

Telah jelas bahwa Tahanan ini disusun dari gabungan antara Tahanan Gesek (Rf) dengan Tahanan Tekan Viskos (RE). Dibentuknya konsep Tahanan Viskos (Rvis) ini karena kedua tahanan tersebut berkaitan dengan *Viskositas fluida* yang dilewatinya

6. Tahanan Eddy

Tahanan ini merupakan hasil dari terbentuknya arus pusaran fluida akibat bentuk Lambung yang tidak Streamline ataupun akibat adanya penambahan Appendages.

7. Tahanan Appendages

Tahanan ini akibat adanya penambahan luasan basah karena adanya Appendages seperti, Rudder, Shaft Bracket, Strut dan lain sebagainya.

8. Tahanan Spray Drag

Pada Wahana Laut yang bergerak dengan kecepatan tinggi dapat dipastikan

munculnya Spray atau percikan fluida .Semakin tinggi kecepatan maka Tahanan Spray semakin besar.

9. Tahanan Udara/Angin

Pada Wahana Laut untuk bagian Deck/Platform berkenan langsung dengan udara bebas.Hal ini menimbulkan Tahanan yang nilainya Cukup berarti ketika melaju dengan kecepatan tinggi sehingga Luasan bangunan atas perlu juga menjadi bahan pertimbangan saat perencanaan.

2.2.3. Hukum-hukum kesamaan

Perhitungan Tahanan Kapal dapat di lakukan melalui pendekatan formulasi dan dengan percobaan model kapal di laboratorium hidrodinamika.Teori kesamaan sangat penting artinya pada percobaan di laboratorium hidrodinamika dimana pada percobaan tersebut sering digunakan bentuk-bentuk model yang biasanya dengan memakai skala.Pada bentuk model yang dapat di pelajari kesamaan-kesamaan sifat fisiknya,maka kharakteristik dari sistem yang satu dapat diperoleh semua kharakteristik dari sistem yang lain dengan pertolongan skala.

Hukum-hukum keasamaan di bagi menjadi tiga bagian,yaitu:

a). **Hukum kesamaan Geometrika** yaitu jika semua ukuran-ukuran identik,jadi perbandingan dari sembarang ukuran yang kita namakan skala geometrika.Kita misalkan skala Geometrika = λ

	System I (Model)	System II (Kapal sebenarnya)
Panjang (L)	L_M	L_S
Luas (A)	S_M	S_S
Volume (V)	V_M	V_S

Maka dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{LM}{LS} = \lambda, \frac{SM}{SS} = \lambda^2, \frac{VM}{VS} = \lambda^3 \quad (2.2.1.4)^{(2)}$$

b). **Hukum kesamaan Kinematika** adalah kesamaan Geometris sistem dengan menggunakan skala kesamaan berubah tempat dengan kesamaan Geometris System yang sama pula. Hal ini berarti bahwa dalam sistem koordinat yang berubah dari suatu titik (X_1, Y_1, Z_1) dan titik kedua yang mempunyai koordinat (X_2, Y_2, Z_2) , maka dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{X_1}{X_2} = \frac{Y_1}{Y_2} = \frac{Z_1}{Z_2} = \lambda \quad (2.2.1.5)^{(2)}$$

Jika hal ini terjadi perbedaan waktu, maka perbedaan dari semua titik pada sistem tersebut *dipertahankan selalu tetap pada semua waktu pergerakan.*

c). **Hukum Kesamaan Dinamika**

Dua sistem dapat diartikan mempunyai kesamaan kinematika mereka, massa bagian dari sistem pertama akan selalu pada keadaan yang tetap dengan massa bagian dari sistem kedua. Maka dari itu kesamaan dinamika dapat diartikan dari ketiga skala kebesaran yaitu : λ , τ dan *skala massa m*.

Jadi pada sistem kedua akan mempunyai massa :

$$\frac{M_1}{M} = \frac{M_2}{M} = \frac{t_1}{\tau} = \frac{t_2}{\tau}, \frac{X_1}{\lambda} = \frac{X_2}{\lambda}, \frac{Y_1}{\lambda} = \frac{Y_2}{\lambda}, \frac{Z_1}{\lambda} = \frac{Z_2}{\lambda} \quad (2.2.1.6)^{(2)}$$

Percobaan model kapal banyak memakai hukum kesamaan dinamika aliran fluida.

Hukum kesamaan untuk aliran yang terjadi akibat gerakan model kapal dan kapalnya sendiri, hanya dapat dilihat dari bagian-bagian fluida tersebut, yaitu :

Energi, kekentalan (viscositas), berat dan bagian cairan dapat dianggap tidak bertekanan.

Gaya tarik permukaan tidak berpengaruh pada gerakan kapal maupun model .
selain itu dipergunakan pula kesamaan geometrika model dan kapalnya sendiri.

Bilangan Reynold :

$$Rn = \frac{V_s * L}{\nu}$$

Bilangan Froude :

$$Fn = \frac{V_s}{(g * L)^{1/2}} \quad (2.2.1.7)^{(2)}$$

kedua formula diatas berlaku bagi model maupun kapal yang sebenarnya. Gaya
Tahanan yang bekerja pada model(RM) dan kapal(RK) dapat di hitung sebagai
berikut:

$$RK = \xi * \frac{\rho K}{2} * SK * VSK^2 \quad , \text{ Indeks K untuk Kapal}$$

$$RM = \xi * \frac{\rho M}{2} * SM * VSM^2 \quad , \text{ Indeks M untuk Model}$$

$$\text{Sehingga : } \frac{VSM}{VSK} = \frac{LK}{LM} * \frac{vM}{vK} \quad \text{dan} \quad \frac{VSM}{VSK} = (LM/LK)^{1/2}$$

$$\text{Maka : } \frac{LM}{LK} = \frac{1}{\lambda} (vM / vK)^{2/3} \quad (2.2.1.8)^{(2)}$$

Dimana λ = Skala Geometris, dari sini berarti $vM = vK$ sehingga ukuran model
kapal harus sama dengan ukuran utama kapal ($LM = LK$).

Hukum kesamaan Froude adalah sebagai berikut : $FnK = FnM$

$$\text{Sehingga : } VM = VK * (LM/LK)^{1/2} = \frac{VK}{(\lambda)^{1/2}} \quad (2.2.1.9)^{(2)}$$

Pada metode percobaan tarik model maka koefisien Tahanan gelombang model
sama dengan Tahanan gelombang kapal dan dapat dituliskan seperti di bawah ini:

$$RW = \frac{\gamma K}{\gamma S} * \lambda^3 * rW \quad (2.2.1.10)^{(2)}$$

Dimana γS : Berat jenis air laut

γK : Berat jenis air tawar

Kesimpulan dari percobaan tarik model dapat di ketahui Tahanan model

kapal. Tahanan gesek model dapat dicari dengan metode **Froude** dan

Lebesnerais, atau rumus **Schoenherr**, yaitu Tahanan sisa adalah pengurangan dari

Tahanan total model dengan Tahanan gesek model, sehingga Tahanan sisa model adalah sebagai berikut :

$$R_{rM} = R_{TM} - R_{FM} \quad (2.2.1.11)^{(2)}$$

Setelah Tahanan sisa model didapatkan, maka dapat dicari Tahanan sisa kapal dengan rumus:

$$R_{rK} = \frac{\gamma_K}{\gamma_S} * \lambda^{-3} * r_r \quad (2.2.1.12)^{(2)}$$

Tahanan gesek kapal dapat di hitung dengan metode Froude, Lebernerais ataupun Schoenherr. Sehingga didapatkan Tahanan Total kapal sebagai berikut:

$$R_{TK} = R_{FK} + R_{rK} \quad (2.2.1.13)^{(2)}$$

Karena percobaan Tarik model biasanya tidak di ikutkan Tahanan udara (R_{AK}), maka pada perhitungan Tahanan Total kapal perlu ditambahkan dengan besarnya Tahanan udara tersebut :

$$R_{TK} = R_{FK} + R_{rK} + R_{AK} \quad (2.2.1.14)^{(2)}$$

Besarnya Tahanan Udara ini tergantung pada bentuk Bangunan atas Kapal dan Type Kapal. Untuk lautan yang tenang dan cuaca yang baik, praktis Tahanan Udara dapat diabaikan (*Modul Tahanan kapal Ir. Surjo Widodo Aji, MSc*)⁽²⁾

2.2.4. Tahanan Gesek

Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya, tahanan gesek adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegalkan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal. Semua fluida mempunyai viskositas, dan viskositas ini menimbulkan gesekan. Gesekan yang ditimbulkan oleh fluida tersebut tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya. Jika gesekan tersebut dapat diabaikan maka alirannya disebut ideal. viskositas adalah ukuran tahanan fluida terhadap geseran bila fluida tersebut bergerak. Dengan demikian maka koefisien, viskositas dinamis dapat

didefinisikan sebagai tegangan geser per satuan gradien kecepatan. Dimensi viskositasnya adalah $ML^{-1}T^{-1}$. Rasio antara viskositas dengan massa jenis disebut koefisien viskositas kinematik dan dapat ditulis sebagai

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2.1.15)^{(2)}$$

Yang mempunyai dimensi L^2T^{-1} dan satuan $m^2 \text{ det}^{-1}$, viskositas cairan akan turun jika suhunya naik. Viskositas juga tergantung pada tekanan, tetapi ketergantungan ini umumnya tidak penting bagi masalah tahanan. Koefisien viskositas dapat ditentukan dengan berbagai cara, dan seperangkat harga viskositas kinematik untuk air tawar dan air asin diberikan di ITTC (1963, halaman 291-294). Berapa harga dari koefisien tersebut yang sering dipakai.

2.2.4.1. Aliran Laminer dan Turbulen

Dalam aliran laminer, fluida bergerak sebagai sejumlah laminasi atau lapisan. Semua lapisan tersebut tidak saling memotong dan membaur tetapi saling bergeseran pada kecepatan relatif yang bervariasi dalam penampang aliran.

Dalam aliran turbulen, komponen kecepatan fluida mempunyai fluktuasi yang tak menentu. Aliran tersebut terpotong dan fluidanya terbaur dalam gerakan ulakan (eddy motion). Kecepatan aliran harus dipandang sebagai harga rata-rata kecepatan partikel.

Faktor yang menentukan laminer atau turbulennya suatu aliran adalah fluida, kecepatan, bentuk dan ukuran benda yang diletakkan di dalam aliran, kedalaman air, dan jika aliran tersebut berada di dalam kanal, konfigurasi serta ukuran kanal. Baik aliran laminer maupun aliran turbulen ada dalam kenyataan, tetapi aliran turbulen adalah keadaan yang lebih umum. Bila kecepatan

bertambah, aliran akan berubah dari laminar ke turbulen, melalui daerah transisi. Transisi terjadi pada angka Reynolds $R_n = 10^5 - 10^6$. Dengan demikian, dalam percobaan model, aliran di suatu daerah yang tak diketahui di model dapat saja bersifat laminar yang berarti bahwa ketepatan percobaan sering tidak sebaik yang diinginkan.

Viskositas juga mempunyai pengaruh pada aliran turbulen, tetapi pengaruh tersebut biasanya dikalahkan oleh dominasi tegangan geser turbulen.

2.2.4.2. Lapisan Batas

Lapisan batas diartikan sebagai daerah fluida yang dekat dengan benda padat. Di dalam daerah ini, gradien lintang (transverse gradient) kecepatannya sangat besar dibandingkan dengan variasi longitudinalnya, dan tegangan gesernya mempunyai arti yang penting. Lapisan batas bisa laminar, turbulen, atau transisional, dan kadang-kadang disebut sabuk gesekan (Frictional Belt).

Pernyataan matematis mengenai aliran di dalam lapisan batas yang laminar sulit untuk dibuat, dan hanya beberapa masalah yang sederhana saja yang dapat diselesaikan dengan mudah. Lebih dari itu, belum ada penyelesaian analitis yang lengkap untuk distribusi kecepatan rata-rata di dalam aliran turbulen, bahkan untuk situasi yang sederhana sekalipun, seperti misalnya aliran pada pelat dasar. Persamaan Navier-Stokes dikenal sebagai ekspresi matematis umum untuk menyatakan fenomena hidrodinamis yang melibatkan ciri inersial dan viskos fluida untuk menyelesaikan persamaan tersebut, sering bahwa beberapa suku tertentu dalam persamaan tersebut harus dihilangkan, yang berarti membuat model matematis tersebut menyimpang dari situasi yang sebenarnya. Untuk aliran yang mengalami usikan (disturbance) yang berdenyut-denyut dengan berbagai

frekuensi yang ditambahkan pada kecepatan aliran rata-rata, persamaan Navier-Stokes menunjukkan bahwa untuk aliran sepanjang pelat datar, denyutan tersebut akan diperkuat dan, dengan demikian, pada berbagai angka Reynolds aliran laminernya akan tidak stabil.

2.2.4.3. Pemisahan

Pemisahan aliran (flow separation) diartikan sebagai pisahnya aliran utama dari permukaan benda pejal yang disebabkan adanya gradien tekanan longitudinal yang melawan, kadang-kadang karena adanya perubahan mendadak pada arah kurvatur permukaan. Fluida di dalam aliran yang terpisah berisi ulakan, dan mungkin mendekati statis, atau mungkin berisi daerah aliran yang berlawanan.

Lapisan batas akan tetap tipis, relatif terhadap ukuran benda, hingga dicapainya kondisi pemisahan.

Kenaikan angka Reynolds lebih lanjut akan menyebabkan aliran menjadi yang sepenuhnya mengalami pemisahan. Lapisan batas laminar pada seluruh bagian depan silinder akan merupakan lapisan batas yang tipis karena gradien tekanan di bagian tersebut negatif. Di seluruh bagian belakang silinder terdapat gradien tekanan yang berlawanan dan gradien tekanan ini menimbulkan terbentuknya lapisan batas dan pemisahan secara tepat. Pada angka Reynolds yang lebih tinggi lagi, lapisan batas tersebut akan menjadi turbulen.

Penghamburan pusaran dalam aliran pusaran Von Karman menimbulkan terbentuknya suatu pola dengan bentuk teratur secara siklis, yaitu ketika putaran tersebut berkembang menjadi lebih banyak dan lepas secara bergantian (pada sisi yang satu dulu baru kemudian pada sisi yang lainnya)

Agar pemisahan dapat terjadi maka diperlukan baik gradien tekanan yang positif maupun lapisan batas. Tanpa lapisan batas, aliran yang mempunyai gradien tekanan yang positif tidak akan mengalami pemisahan. Pemisahan dapat ditunda atau dicegah dengan jalan menghisap fluida yang berada di titik pemisahan di dalam lapisan batas. Teknik penghisapan lapisan batas tersebut kadang-kadang digunakan dalam percobaan model.

Demikian pula halnya dalam percobaan model yang berukuran besar. Pemisahan laminar dapat terjadi pada bahu yang terdepan. Selain itu, dapat pula terjadi pemisahan turbulen di buritan. Kenaikan angka Reynolds cenderung menggeser mundur letak titik pemisahan. Dengan demikian, karena angka Reynolds yang dipakai dalam uji model berbeda dengan angka Reynolds kapal yang sebenarnya maka ada kemungkinan bahwa letak titik pemisahan yang terjadi pada model, jika memang terjadi, berada di depan titik pada kapal yang secara geometris sama dengan titik pemisahan pada model tersebut.

Anggota badan kapal (appendages) seperti misalnya braket poros dapat memiliki angka Reynolds lokal yang rendah sekali. Dengan demikian maka lapisan batasnya atau bagian dari lapisan batas tersebut dapat berupa laminar, hal ini dapat menyebabkan hasil uji model menjadi tidak handal. Karena daun baling-baling, daun kemudi, dan sirip anti oleng, dapat menimbulkan gaya angkat bila membentuk sudut pukul (angle of attac) dengan aliran, maka gradien tekanan positif yang besar itu, tepat sesudah puncak tekanan rendah pada bagian belakang daun dapat menyebabkan terjadinya pemisahan. Jika aliran di dalam lapisan batasnya berupa aliran laminar maka pemisahan tersebut akan terjadi pada sudut pukul yang jauh lebih kecil daripada jika alirannya turbulen. Hal ini akan menyebabkan terjadinya penghentian sebelum waktunya (premature stall) dan

drag yang sangat berlebihan sesudah penghentian tersebut. Inipun menyebabkan hasil percobaan model menjadi lebih tak menentu.

2.2.4.4. Koefisien Tahanan Gesek

Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya bahwa tahanan gesek R_F adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan cara mengintegral tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal.

Selanjutnya, tahanan gesek spesifik atau koefisien drag C_F didefinisikan sebagai

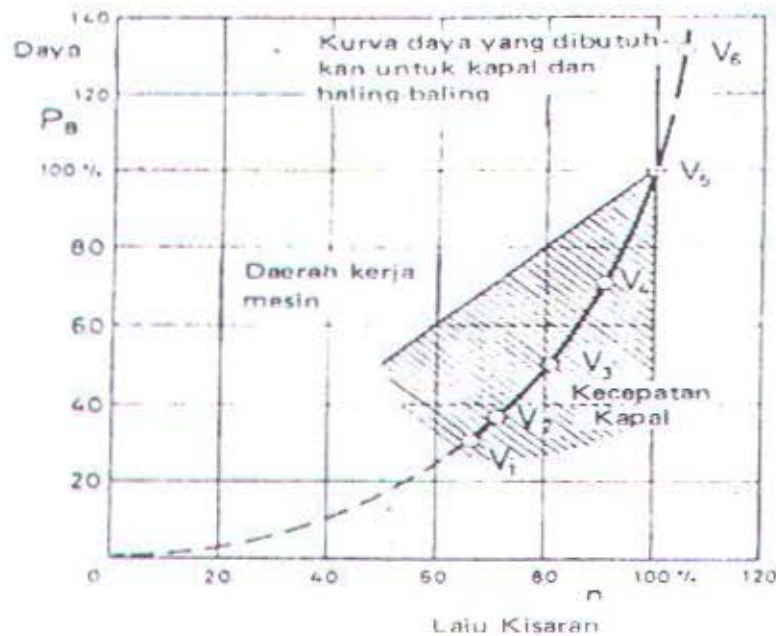
$$C_F = \frac{R_F}{\frac{1}{2} \rho V^2 S} \quad (2.2.1.16)^{(2)}$$

ρ adalah massa jenis, V kecepatan kapal, dan S permukaan basah kapal.

2.3. Interaksi Kapal - Mesin - Baling-baling

Untuk memeriksa interaksi antara kapal, mesin dan baling-baling ini perlu lebih dulu ditinjau secara terpisah. Tetapi, sebelumnya harus ditentukan terlebih dahulu mesin penggerak yang dibutuhkan. Baru setelah itu, ketiga sistem komponen ini digabungkan dengan jalan mencocokkan kurva karakteristik untuk kapal dan baling-baling dengan daerah kerja mesin induk dengan mengkombinasikan sedemikian rupa hingga berubahnya salah satu dari sistem komponen tersebut akan berarti berubahnya pula kedua sistem yang lainnya.

Cara yang paling sederhana untuk memeriksa korelasi antara kapal, mesin dan baling-baling adalah dengan menggambar kurva batas daerah kerja mesin dalam diagram laju kisaran terhadap daya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.1.



Gambar 2.3.1. Diagram laju kisaran terhadap daya yang menunjukkan interaksi antara kapal, mesin dan baling-baling

Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 235

2.3.1. Bentuk Badan Kapal

Tahanan kapal tergantung pada ukuran kapal, bentuk badan kapal dan kecepatan yang diinginkan. Bagi perancang, untuk merancang kapal baru tidak cukup hanya menjamin bahwa kapal itu ada pada kecepatan yang diinginkan nantinya akan mempunyai tahanan yang rendah. Kapal, mesin, dan baling-baling harus dipandang sebagai suatu sistem yang harus dicari kemungkinan paduannya yang terbaik. Berubahnya salah satu bagian dari sistem tersebut umumnya berarti berubahnya kedua bagian yang lainnya. Misalnya, jika ukuran kapal diperbesar maka diperlukan mesin yang lebih besar bila tetap diinginkan kecepatan yang sama. Agar dari mesin dapat disalurkan daya yang cukup maka baling-balingnya juga harus disesuaikan.

Perancang pada awalnya memilih ukuran untuk kapal baru menurut kegunaan kapal. Pemilihan parameter bentuk badan kapal yang paling penting pun sangat dipengaruhi oleh kegunaan kapal.

Dalam perencanaan pembuatan sebuah kapal diperlukan kombinasi-kombinasi antara ukuran utama dengan parameter bentuk, dalam kaitannya dengan kecepatan.

Dalam analisa atau prakiraan tahanan, ukuran, koefisien tanpa dimensi, dan rasio berikut ini dapat dipakai untuk menyatakan bentuk badan kapal :

Ukuran Kapal

L = panjang garis air

L_{PP} = panjang antara garis tegak

L_{OS} = panjang seluruhnya yang terbenam

B = lebar garis air

T_A = sarat buritan

T_F = sarat haluan

T = sarat rata-rata

δ = koefisien blok

A_x = luas penampang melintang tengah kapal yang terbenam

A_{BT} = luas penampang haluan gembung (diukur dari FP)

S = permukaan basah [$L \times$ panjang garis lengkung sisi kapal (girth)]

∇ = volume displasemen

LCB = jarak titik benam (centre of bouyancy) di belakang tengah kapal.

Koefisien dan Rasio

$$\delta = \frac{\nabla}{LBT} = \text{koefisien blok}$$

$$\beta = \frac{A_x}{BT} = \text{koefisien penampang melintang (bidang tengah kapal)}$$

$$\phi = \frac{\nabla}{A_x L} = \text{koefisien prismatik}$$

L/B = rasio panjang dengan lebar

B/T = rasio lebar dengan sarat

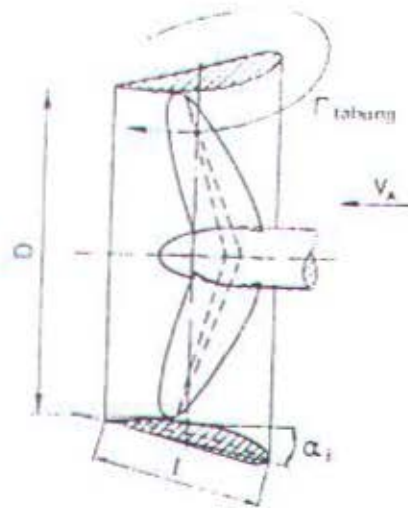
$L/\nabla^{1/3}$ = rasio panjang dengan displasemen

LCB/L_{pp} = rasio jarak titik benam di belakang tengah kapal

2.3.2. Baling-baling di dalam Tabung (Kort Nozzle)

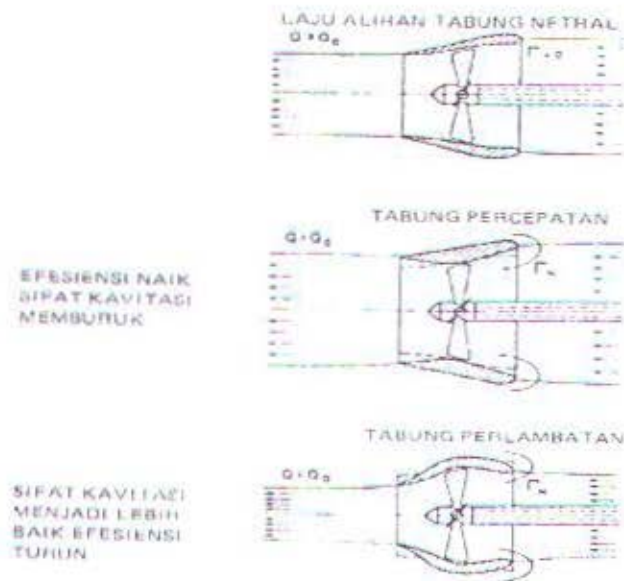
Pada baling-baling, beban gaya dorong yang tinggi memberikan efisiensi yang rendah, sebaliknya beban gaya dorong yang rendah akan memberikan efisiensi yang tinggi. Dengan demikian maka efisiensi baling-baling dapat ditingkatkan, berarti peningkatan kualitas propulsi kapal dapat dilakukan dengan jalan menurunkan beban gaya dorong.

Beban gaya dorong dapat diubah dengan jalan memasang foil udara mengelilingi baling-baling sehingga membentuk satu unit baling-baling yang diselubungi atau unit baling-baling di dalam tabung (nozzle). Unit ini juga disebut sebagai tanung *Kort*. Kort diambil dari nama **Ludwig Kort**, yaitu perancang baling-baling tabung untuk kapal yang pertama; pada tahun 1927. Gambar 2.3.2.1. menunjukkan skema baling-baling yang dipasang di dalam tabung Kort demikian itu. Pemasangan baling-baling dalam tabung kort tersebut tergantung dari bentuk badan kapal dan kebutuhan kapal. Baling-baling tabung umumnya dipakai untuk kapal kecil seperti misalnya kapal tunda atau kapal pukat. Pada kapal tunda peletakkan kort ini disesuaikan untuk kebutuhan atau faktor manouveriabilitas dan kestabilan agar mendapatkan karakteristik yang optimal.



Gambar 2.3.2.1. Skema baling-baling dalam tabung
Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 221

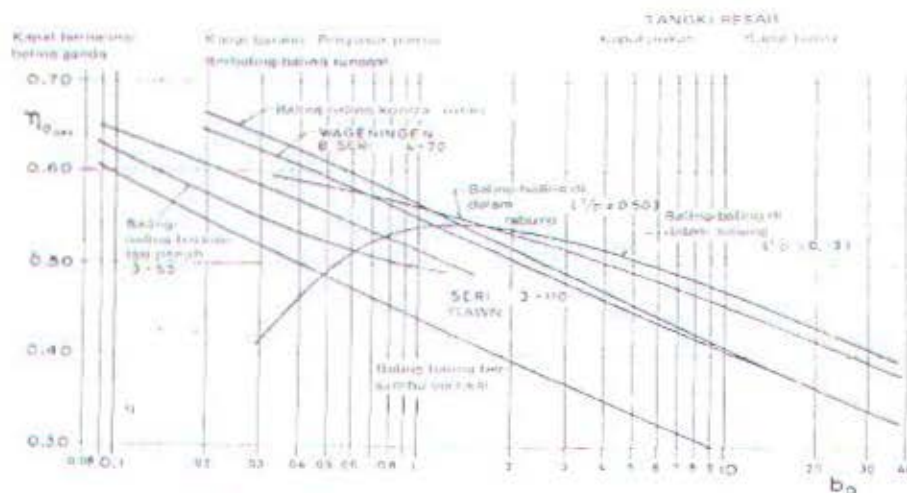
Dengan adanya tabung tersebut dan tergantung pada bentuk tabung itu sendiri, aliran yang melalui tabung tersebut akan mengalami percepatan atau perlambatan. Percepatan aliran akan menyebabkan turunnya beban gaya dorong dan naiknya efisiensi baling-baling. Perlambatan aliran umumnya akan memberikan karakteristik kavitasi yang lebih baik (lihat Gb. 2.3.2.2).



Gambar 2.3.2.2. Berbagai bentuk tabung
Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal

Asas kerja baling-baling yang diselubungi demikian itu mirip dengan asas kerja pompa aksial. Dinding tabung tersebut akan menurunkan kekuatan pusaran ikut pada ujung daun, dan bahkan akan dapat menghilangkan sama sekali pusaran tersebut jika sela antara ujung daun dengan dinding tabung cukup kecil. Karena itu untuk mendapatkan efisiensi setinggi mungkin maka sela antara ujung daun dengan dinding tabung harus dibuat sekecil mungkin, barangkali sekitar 0,001 garis tengah baling-baling. Untuk menghindari kerusakan akibat fenomena kavitasi maka pada bagian dinding tabung yang menyelubungi daun baling-baling dipasang pelat tahan karat. Untuk memperkecil resiko kavitasi pada ujung daun maka masing-masing ujung daun dibuat lebar, sehingga baling-baling tersebut akan mempunyai bentuk yang mirip dengan bentuk turbin air kaplan.

Gambar 2.2.2.3. menunjukkan harga efisiensi optimal untuk berbagai jenis alat penggerak (Manen, 1966)⁽⁹⁾. Dari gambar tersebut terlihat bahwa efisiensi baling-baling yang tertinggi untuk baling-baling yang bekerja dengan beban yang tinggi dimiliki oleh baling-baling di dalam tabung.



Gambar 2.3.2.3. Harga efisiensi optimal untuk berbagai jenis alat penggerak kapal
Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 223

Untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi maka tabung baling-baling harus dibuat dengan tepat, terutama sela antara daun baling-baling dengan tabung yang menyelubunginya. Sela ini harus kecil dan ukurannya harus tepat seperti yang diinginkan. Baling-baling dan tabungnya dapat saja mengalami kavitasi. Pemasangan tabung pada badan kapal dalam hal tertentu mungkin sulit dan mahal untuk dilakukan. Selain itu, jika kapal berlayar di daerah es yang berat, tabung akan dapat menimbulkan masalah. Karena itu tabung baling-baling tidak dipakai untuk kapal yang baling-balingnya mempunyai beban yang besar.

2.3.3. Mesin Penggerak

Mesin penggerak kapal harus dipilih sedemikian rupa hingga dicapai penyelesaian yang optimal dari kombinasi bobot mati, tata muat (stowage), dan berbagai faktor lainnya. Mesin tersebut akan dipilih sedemikian rupa hingga daya yang diperlukan untuk menggerakkan kapal akan dihasilkan dengan biaya yang semurah mungkin; yaitu biaya operasi yang terkait dengan pemakaian bahan bakar, minyak pelumas, pemeliharaan, anak buah kapal dan permodala. Faktor lain di luar faktor ekonomi dapat pula merupakan faktor yang penting, seperti ukuran fisik, terutama ukuran mesin penggerak utama, panjang, lebar, dan tinggi serta waktu penyerahan, pengalaman pemilik kapal dari pengoperasian berbagai jenis dan merek mesin, dan sebagainya.

Daya dari mesin penggerak utama dapat saja langsung disalurkan dari unit daya ke baling-baling. Di antara unit daya dan poros dapat dipasang gigi reduksi mekanis atau elektrik. Sistem propulsi dengan penggerak elektrik hanya cocok jika memang diperlukan sistem pengendalian yang mudah, tata letak yang bebas, dan kemultigunaan perangkat elektrik (dalam hal ini generator) pada mesin penggerak

utama. Karena itu sistem propulsi elektrik akan cocok untuk kapal yang memerlukan tingkat kemampuan olah gerak yang tinggi (kapal penyeberangan, kapal pemecah es, kapal tunda, kapal oseanografi, dan sebagainya), serta kapal yang memerlukan daya yang besar yang dapat dipakai untuk berbagai keperluan, dan kapal yang mempunyai mesin penggerak lebih dari satu, arah putarannya tidak dapat dibalik dan putarannya tinggi.

Kurva batas daya mesin sangat ditentukan oleh sistem dan jenis mesin yang dipilih. Torsi mesin penggerak utama sangat bervariasi terhadap laju kisaran serta dalam bentuk variasi yang berbeda-beda.

Jika biaya operasi yang murah merupakan faktor yang terpenting dalam prosedur perancangan maka sistem propulsi yang sesuai untuk itu adalah sistem yang memakai mesin diesel dua langkah berkecepatan rendah.

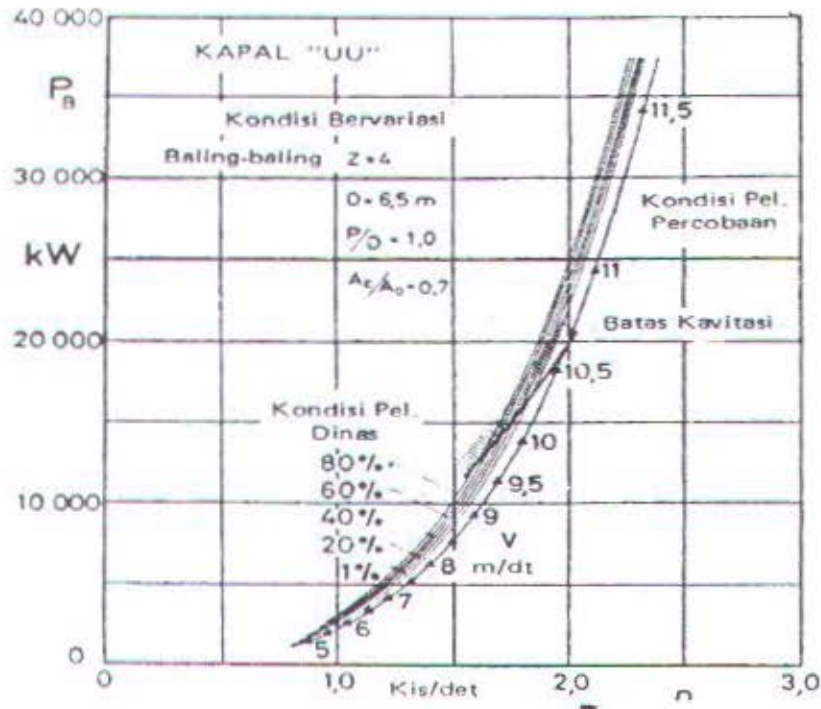
Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya, pemaduan mesin dengan badan kapal dan baling-baling sehingga didapatkan paduan yang sebaik mungkin. Sudah merupakan tradisi bahwa keterangan yang tersedia mengenai mesin hanyalah "Kemampuan Kerja Tanpa Henti" (Continuous Service Rating) dan "Kemampuan Maksimum tanpa Henti" (Maximum Continuous Rating atau MCR) berikut laju kisaran untuk kemampuan tersebut. Di antara komponen kapal yang begitu banyak dan rumit, keterangan tersebut tentunya masih sangat terbatas sekali, sehingga masih perlu untuk mendapatkan keterangan yang lebih rinci mengenai berbagai kemungkinan dan kecocokan antara mesin diesel atau mesin penggerak utama dengan badan kapal dan baling-baling agar mendapatkan hasil yang optimal.

2.3.4. Interaksi Kapal dengan Baling-baling

Dalam mempelajari interaksi kapal, mesin dan baling-baling, setelah masing-masing dari ketiga elemen tersebut ditinjau maka selanjutnya dikaji kombinasi antara kapal dan baling-baling. Kurva dalam diagram laju kisaran terhadap daya (Gb. 2.3.1), dinyatakan sebagai "Kurva kebutuhan (demand curve) untuk kapal dan baling-baling.

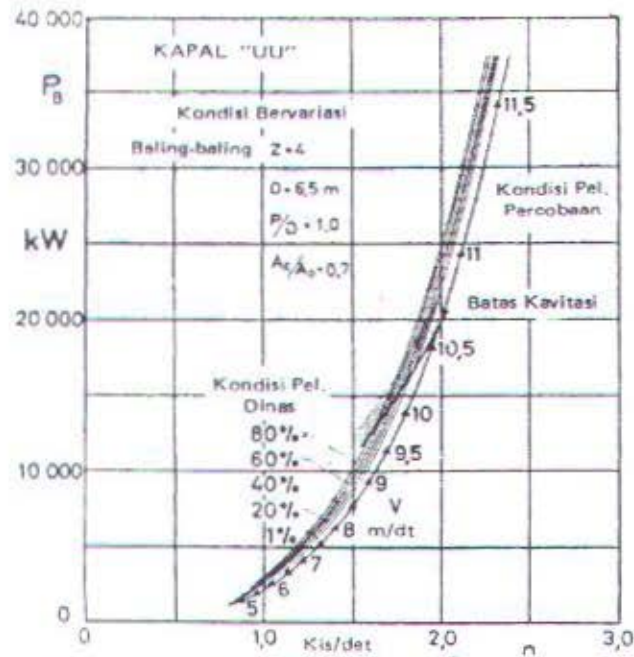
2.3.5. Pengaruh Kondisi Kapal

Dalam pelayaran percobaan, kapal harus benar-benar dalam kondisi pelayaran percobaan; yaitu baru dicat, badannya bersih, dan bermuatan penuh. Kondisi ini akan memberikan tahanan gesek yang sekecil mungkin. Selain itu, pelayaran percobaan umumnya berlangsung dalam keadaan cuaca yang relatif tenang, sehingga tahanan tambahan akibat cuaca akan dapat dianggap kecil, dan koreksi akan dapat dilakukan dengan mudah dan benar. Namun demikian, hanya dalam keadaan tertentu saja kapal dapat dimuati penuh. Lebih-lebih dalam pelaksanaan uji tarik, sering terjadi bahwa kondisi yang dipakai untuk memperkirakan besarnya daya penggerak untuk kondisi pelayaran percobaan berbeda dengan kondisi yang sebenarnya.



Gambar 2.3.5.2. Kurva kapal-baling-baling-daya. Kondisi pelayaran percobaan dan dinas. Untuk berbagai kelonggaran dinas.
Sumber: Sv.Aa.Harvald, Tahanan dan Propulsi Kapal 1983 hal 247

Perlu diperhatikan bahwa perubahan tahanan yang relatif besar tidak terlalu mempengaruhi kurva kapal- baling-baling-daya. (lihat Gb. 2.3.5.1. untuk berbagai kondisi pelayaran dinas). Di lain pihak, titik untuk kecepatan tertentu akan menaikn kurva tersebut jika tahanan bertambah besar dan akan menurunkannya jika tahanan berkurang (lihat Gb. 2.3.5.2.). Karena itu perubahan tahanan dapat meyebabkan perubahan kecepatan dengan cukup besar, tetapi perubahan tersebut tidak akan mempengaruhi interaksi kapal-mesin- baling-baling.



Gambar 2.3.5.2. Kurva kapal-baling-baling-daya. Kondisi pelayaran percobaan dan dinas. Untuk berbagai kecepatan

Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 247

2.3.6. Pengaruh Banyaknya Daun Baling-baling

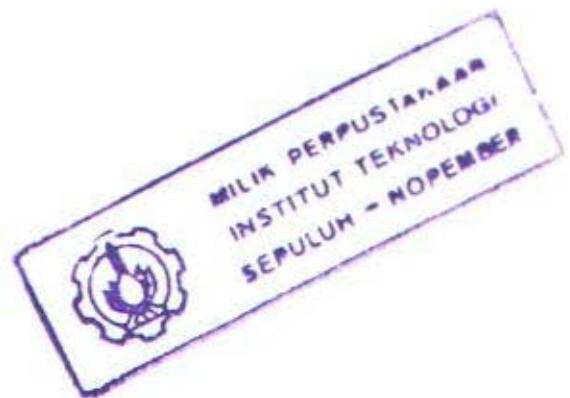
Semakin sedikit daun baling-baling maka akan semakin tinggi efisiensi baling-baling tersebut. Hal demikian ini selalu berlaku jika angka maju mempunyai harga yang tetap. Dengan harga angka maju yang sudah tertentu demikian itu maka berarti harus dipilih baling-baling dengan jumlah daun yang sedikit mungkin. Tetapi jika dilakukan perhitungan dengan menganggap bahwa kecepatan, dan dengan demikian daya baling-baling yang diperlukan, serta garis tengah baling-baling (mungkin D_{maks}) semuanya sudah tertentu, dan memenuhi kriteria kavitasi, maka hasilnya akan seperti yang ditunjukkan pada Gb. grafik ke-2 di atas. Terlihat bahwa penambahan jumlah daun baling-baling mungkin bahkan justru akan menurunkan efisiensi. Juga terlihat bahwa dalam medan kerja yang normal perbedaan efisiensi akibat perbedaan daun tersebut demikian kecil

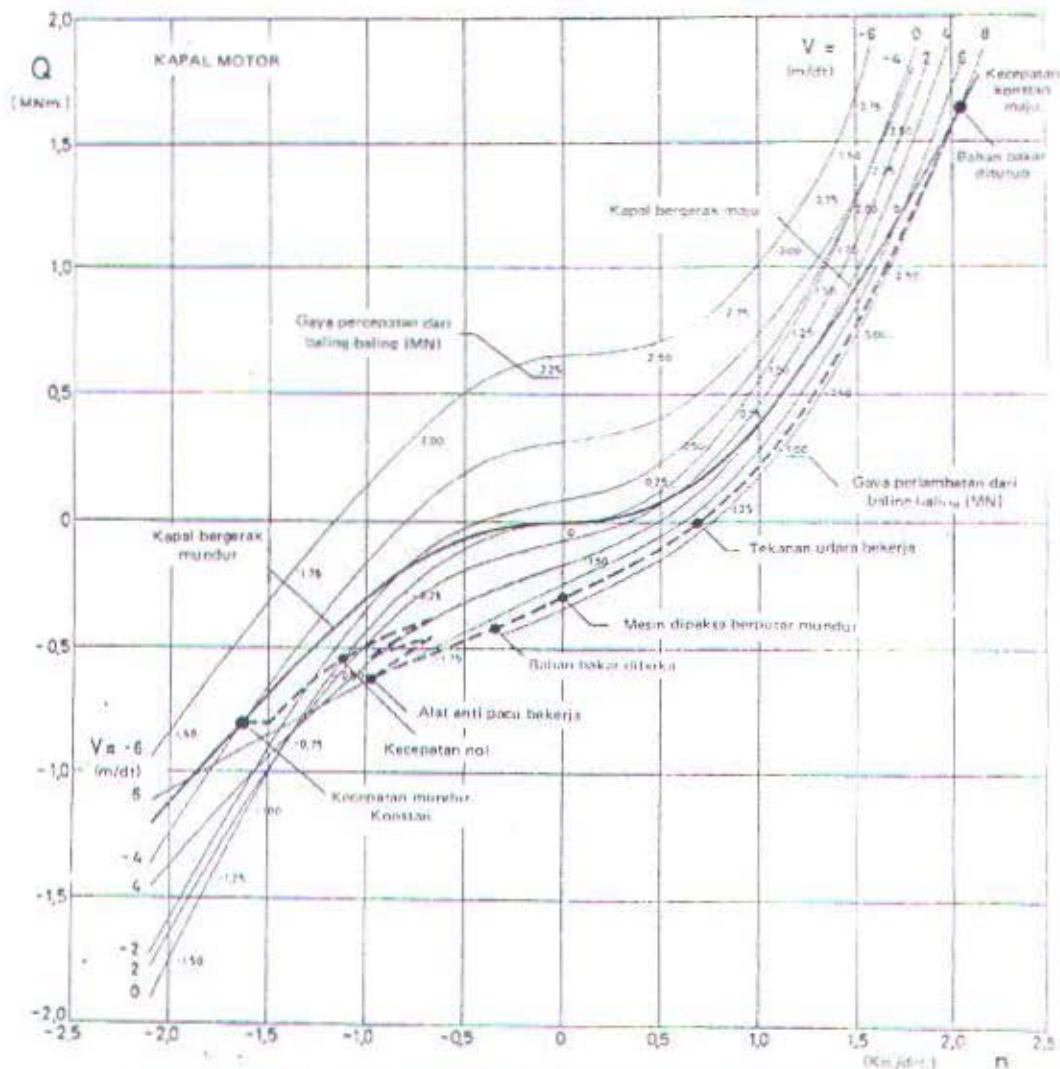
sehingga jumlah daun baling-baling praktis tidak mempunyai pengaruh yang berarti pada daya yang diperlukan untuk menggerakkan kapal.

2.3.7. Percepatan dan Perlambatan

untuk menyelidiki kemampuan kapal dalam melakukan percepatan dan perlambatan atau berhenti dapat dipakai nomogram olah gerak (maneuver nomogram) lihat gambar 2.3.7.1. karena diagram ini memberikan data yang baik mengenai interaksi antara kapal, mesin dan baling-baling.

Banyak penyelidikan mengenai hidrodinamika untuk keadaan ketika mulai menjalankan (starting), menghentikan (stopping), dan mengubah arah gerak (reversing) kapal yang dilakukan dengan memakai harga koefisien harus ikut dan koefisien deduksi gaya dorong yang konstan selama olah gerak berlangsung. Sering pula koefisien arus ikut serta koefisien deduksi gaya dorong tersebut dianggap nol. Dengan memakai nomogram olah gerak maka deduksi gaya dorong dan arus ikut secara otomatis dianggap bervariasi terhadap koefisien beban gaya dorong baling-baling, berikut ini gambar dari nomogram.

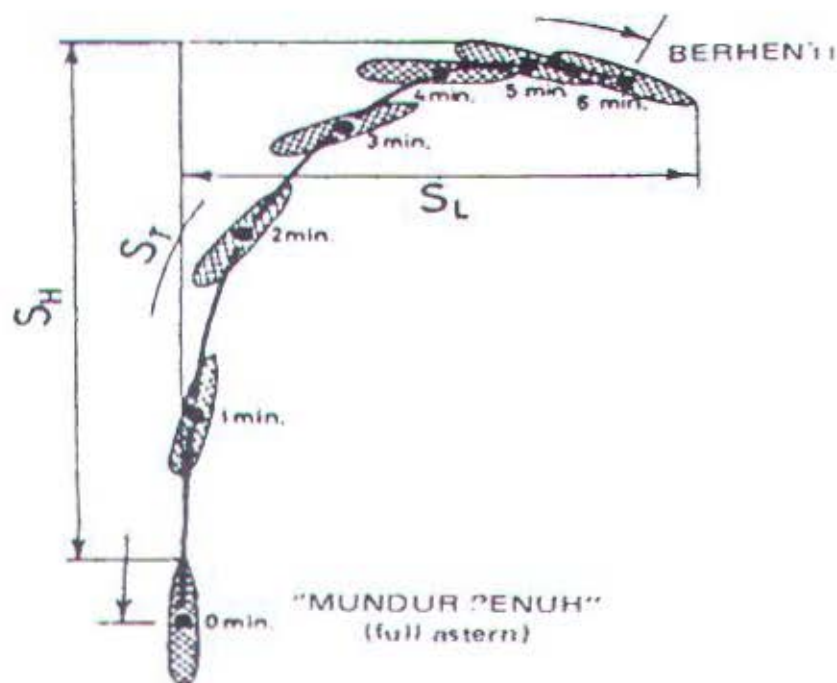




Gambar 2.3.7.1. Sketsa nomogram olah gerak untuk kapal bermesin diesel dari gerakan maju penuh hingga mundur penuh
Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 261

Pada waktu sedang berhenti kapal akan mengikuti jalur seperti yang ditunjukkan gambar 2.3.7.2. parameternya adalah sebagai berikut: jarak jalur yang dicapai (Track Reach) S_T adalah jarak yang ditempuh oleh titik berat kapal di sepanjang jalur henti (Stopping Track), mulai dari saat perintah henti hingga saat kecepatan mencapai nol (jarak hingga mati di air). Jarak henti lurus (Head Reach) S_H adalah jarak yang diukur menurut arah haluan kapal yang semula, dari haluan kapal pada saat perintah henti hingga titik terjauh pada badan kapal selama

berlangsungnya prosedur berhenti tersebut. Jarak tempuh lateral S_L (Lateral Reach) adalah jarak tegak lurus dari titik yang terjauh pada badan kapal hingga garis haluan kapal yang semula selama berlangsungnya olah gerak. Berikut ini gambarnya.



Gambar 2.3.7.2 kondisi kapal saat mundur penuh
Sumber: Sv.Aa.Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* 1983 hal 262

keterangan :

(1) : Sv. Aa. Harvald, *Tahanan dan Propulsi kapal* (1983)

(2) : Ir. Sarjo Widodo Adji, MSx

(3) : Abkowitz (1964)

(4) : Paffet (1971)

(5) : Manen (1966)

2.4.METODE OPTIMISASI

Dalam Tugas Akhir ini ini, Metode Optimisasi yang digunakan adalah Metode Search yang di kombinasikan dengan Metode Analisa Keputusan. Metode Kombinasi ini merupakan metode yang paling mudah dan sederhana. Spesifikasi dari metode ini antara lain:

1. Berlaku untuk lebih dari satu variabel
2. Fungsi tidak perlu harus bisa di turunkan
3. Masing-masing variabel uji harus di beri bobot penilaian yang didasarkan pada tingkat kepentingan terhadap fungsi tujuan.
4. Fungsi harus mempunyai harga yang nyata

2.4.1 Metode Pelaksanaannya adalah menggunakan Exhaustive

Search antara lain:

1. Tentukan jumlah titik penyelidikan (N), sehingga daerah penyelidikan (Domain) terbagi menjadi (N-1) bagian.
2. Masukkan tiap harga titik penyelidikan ke dalam fungsi tujuan sehingga terdapat N harga fungsi.
3. Bandingkan harga-harga fungsi tersebut, maka apabila persoalannya:
 - a). Minimumkan : Dipilih nilai fungsi tujuan (objektif) yang paling kecil
 - b). Maksimumkan : Dipilih nilai fungsi tujuan (objektif) yang paling besar



2.4.2.Keunggulan dan Kelemahan

A.Keunggulan :

- 1.Dapat di gunakan secara luas untuk berbagai macam bentuk fungsi,baik uni modal maupun multi modal
- 2.Dapat memperkirakan titik maksimum dan titik minimum secara bersamaan

B. Kelemahan :

- 1.Proses berjalan lambat karena titik penyelidikan harus banyak untuk mendapatkan hasil yang sangat akurat
- 2.Untuk Fungsi objektif dengan multi modal, hasil yang didapat relatif kurang akurat

Catatan:1 . Harga ketidak yakinan (Jarak ketidak pastian tiap titik penyelidikan

adalah :
$$\alpha = \frac{2}{N-1}$$

- 2.Contoh aplikasi metode ini bisa di lihat dalam perhitungan Optimasi pada Bab IV Tugas Akhir ini

BAB III

METODOLOGI

3.1. UMUM

Pengujian untuk Optimisasi Peletakan Schottel ini dilakukan dengan cara memvariasikan peletakannya di bawah lambung Tug Boat. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari pihak pabrik pembuat Schottel, posisi Schottel di letakkan kira-kira 65 %LWL-70%LWL di ukur dari Stern Tug Boat. Untuk membuktikan bahwa posisi tersebut sudah optimal atau belum maka perlu pengujian beberapa variasi peletakan Schottel di daerah sebelum dan sesudah range posisi yang sudah disebutkan diatas. Dalam Tugas Akhir ini akan di rencanakan 5 alternatif peletakan Schottel yaitu di Frame no.36 , 38 , 40 , 42 dan 43. Ketentuan dan batasan-batasan pengujian letaknya adalah sebagai berikut:

1. Besarnya Thrust Schottel (THP) untuk masing-masing peletakan Schottel harus sama.
2. Kecepatan (Vs) Tug Boat harus sama untuk masing-masing peletakan Schottel.
3. Variasi Sudut Kemudi Uji dari arah gerak Schottel harus sama.
4. Jenis gerakan uji (6 derajat kebebasan gerak pada kapal) untuk masing-masing peletakan Schottel harus sama.
5. Kondisi Tug Boat pada saat pengujian adalah *LIGHT SHIP CONDITION*.
6. Tidak ada pembahasan mengenai Lay Out Engine Room/konstruksinya.

7. Kondisi alam di asumsikan *BLUE SKY* untuk masing-masing peletakan Schottel.

8. Frame-frame Uji Peletakan Schottel adalah 36 , 38 , 40 , 42 dan 43

Dari ketentuan dan batasan-batasan diatas di harapkan akan di hasilkan hasil pengujian yang cukup optimal dan presisi dari variasi peletakan schottel tersebut.

Pengujian ini di fokuskan pada optimisasi kemampuan Maneuver (baik Rotasi maupun Translasi) juga Momen Statis dan Momen Kopel pada saat Proses Penundaan kapal yang sesingkat mungkin.

3.2. DATA UJI

Dalam Tugas Akhir ini,yang menjadi data uji adalah Tug Boat 2 x 1200 HP Jayakarta I buatan PT.PAL Surabaya.Tug Boat ini termasuk kedalam jenis "*Coastal Tug*"dimana pengoperasiannya di khususkan di daerah di sekitar dermaga.Misi Utama dari Tug Boat ini adalah sebagai Kapal Tunda , Kapal Pandu dan Kapal Pemadam Kebakaran di dermaga.Berikut ini adalah rincian data-data Tug Boat yang di gunakan sebagai Data Uji dalam Tugas Akhir ini:

- 1.Intact Stability Report "Conan Wu and Associates
- 2.Test Record Of Main Dimension,Draft Mark & Free Board Mark.
- 3.Test Record Of Inclining Test.
4. Result Of Sea Trial (Hull Part).

3.2.1. PRINCIPAL DIMENSION OF TUG BOAT 2x1200 HP

JAYAKARTA I :

1. Nama Kapal : KM . Jayakarta I
2. Jenis Kapal : Coastal Tug



3. LOA	: 30 m
4. LWL	: 28.4 m
5. Bm	: 9.5 m
6. Dm	: 3.8 m
7. Draft Design	: 4.6 m
8. Complement	: 8 orang
9. Jumlah Engine	: 2 buah
10. BHP Engine	: @1200 x 2
11. Merk Engine	: Yanmar
12. Kapasitas Tangki	:
a. Fuel Oil Tank	: 50 m ³
b. Fresh Water Tank	: 35 m ³
c. Form	: 8 m ³
d. Lubricating Oil Tank	: 5 m ³

3.2.2. MAIN PROPULSION PARTICULAR

A. Main Engine

1. Manufacture	: Yanmar
2. Type	: GN 21 A – SV
3. No Of Cylinder	: 6
4. Bore	: 210 mm
5. Stroke	: 290 mm
6. Max.Continuous Output :	: 883 KW At 900 Rpm
7. Firing Order	: 1-4-2-6-3-5-1
8. Engine Serial Number	: FTF 0798 & FTF 0799
9. No.Of Set	: 2 Sets

B. Propulsion System

1. Manufacture	: Schottel
2. Type	: SRP 550 FP
3. Rated Power	: 1175 KW
4. Input Speed	: 850 Rpm
5. Reduction ratio	: (1 : 3.257)
6. Propeller Diameter	: 1750 mm
7. Propeller Sense Of Rotation	: Port Unit - Counter Clockwise Starboard - Clockwise
8. Static Bollard Pull 100% MCR	: 27 Tons
9. No.Of Set	: 2 Sets
10. Rotating Speed(Steering) for 180°	: 10 – 12 Sec
11. Free Running At 80% MCR	: 900 Rpm

3.3. TAHAP-TAHAP PERSIAPAN PERHITUNGAN

Untuk mengetahui peletakan Schottel pada Kapal Tug Boat 2x1200 HP Jayakarta I yang Paling optimal,ada beberapa hal penting yang perlu di persiapkan dengan baik untuk mendapatkan hasil perhitungan yang detail & presisi,diantaranya adalah sebagai berikut:

3.3.1. PENGUMPULAN DATA-DATA YANG DI PERLUKJAN

Sebagai bahan referensi dan acuan perhitungan,diperlukan data-data penunjang baik itu berupa data spesifikasi maupun data uji yang sudah di lakukan sebelumnya.Dengan demikian nantinya akan di bandingkan hasil uji perhitungan peletakan Schottel dengan data-data uji yang sudah ada,kemudian diambil hasil

yang terbaik berdasarkan parameter-parameter yang sudah ditentukan sebagai tolak ukur optimalisasi peletakan Schottel tersebut. Berikut ini adalah data-data penunjang yang digunakan sebagai bahan referensi pokok dalam penulisan Tugas Akhir ini:

1. Intact Stability Report "Conan Wu and Associates
2. Test Record Of Main Dimension, Draft Mark & Free Board Mark.
3. Test Record Of Inclining Test.
4. Result Of Sea Trial (Hull Part).
5. Specification Of Schottel & Main Engine

3.3.2. OBSERVASI DI LAPANGAN

Untuk meningkatkan pemahaman terhadap objek yang akan diteliti, maka diperlukan observasi di lapangan untuk melihat objeknya secara langsung baik dimensinya maupun cara kerjanya. Hal ini dilakukan agar nantinya diperoleh analisa pemikiran yang lebih terarah karena sudah melihat objeknya. Selain itu, penjelasan dari pihak-pihak terkait dalam pembangunan Kapal Tug Boat 2x1200 HP Jayakarta I merupakan kontribusi yang cukup penting dalam penyusunan Tugas Akhir ini karena mereka lebih berpengalaman dan tahu persis akan operasional dari Tug Boat tersebut secara detail di lapangan. Hasil pokok yang diperoleh dari observasi di lapangan adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui secara detail Dimensi pokok dari Kapal Tug Boat 2x1200 HP Jayakarta I beserta Sistem Propulsinya.
2. Mengetahui Operasional dari Kapal Tug Boat 2x1200 HP Jayakarta I terutama pada saat Sea Trial.

3. Meningkatkan pemahaman terhadap objek yang akan di teliti, baik dengan melihat langsung objeknya maupun lewat penjelasan dari pihak-pihak terkait.

3.3.3. STUDI LITERATUR

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, Studi literatur mutlak diperlukan karena Tugas Akhir ini mengandung berbagai macam disiplin ilmu yang penting dan saling berkaitan satu dengan yang lain. Untuk hasil perhitungan yang maksimal diperlukan referensi buku-buku yang cukup banyak guna memperkuat landasan Teori Penyusunan Tugas Akhir ini. Namun yang harus diperhatikan adalah bahwa formulasi yang terkandung dalam literatur-literatur tersebut harus relevan untuk diterapkan, baik dalam perhitungan maupun dalam kenyataannya di lapangan. Berikut ini adalah daftar dari Literatur-literatur penunjang yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Captain D.R. Derret , Revised by Dr.C. Barras , Ship Stability for Master And Mates (1999)
2. Dr. Ir. Kuntoro Mangkusubroto, MSc, Analisa keputusan (Pendekatan Sistem dalam Manajemen Usaha Dan Proyek) (1987)
3. Ir. M. Murtedjo , ME, Teori Gerak Kapal I (1987)
4. Ir. Surjo Widodo Adji, MSc, Modul Kuliah Tahanan Kapal
5. Manual Book Of Schottel GmbH & Co. KG Typr SRP 550 FP/Schottel for The Shipping World.
6. Rameswar Bhattacharyya, Dynamics Of Marine Vehicle (1978)
7. Setijo Prajudo, Diktat Metode Optimisasi (1998/(1999)
8. Sv. Aa. Harvald, Tahanan & Propulsi Kapal (1983)

9. Martin Abkowits, Stability And Motion Control Of Ocean Vehicle
(1964)

3.3.4. PEMBATASAN MASALAH

Dalam Penulisan Tugas Akhir ini diperlukan batasan-batasan permasalahan yang jelas tanpa mengurangi bobot dari hasil Tugas Akhir ini. Hal ini diperlukan untuk lebih memfokuskan Tujuan Utama dari penulisan Tugas Akhir ini. Berikut ini adalah Batasan-batasan masalah yang di gunakan dalam Tugas Akhir ini:

1. Data yang digunakan dalam analisa ini :
 - a. Data kapal Tug Boat 2 x 1200 HP Jayakarta I buatan PT.PAL Indonesia
 - b. Data Peletakan Schottel dari Manual Book Schottel For The Shipping World
 - c. Data perumusan dan perhitungan di ambil buku-buku referensi yang terdapat dalam daftar pustaka dan masih relevan terhadap analisa dan perhitungan data Tugas Akhir ini.
2. Kondisi alam diasumsikan "Blue Sky" dalam artian bahwa kondisi perairan tenang.
3. Uji Optimasi Peletakan Schottel hanya didasarkan pada perhitungan-perhitungan yang di peroleh dari buku-buku referensi yang menjadi Daftar Pustaka Tugas Akhir ini yang memuat persamaan-persamaan yang secara logika masih cukup relevan jika diterapkan.
4. Tujuan Tugas Akhir ini hanya di fokuskan pada Maneuverability dan Stabilitas kapal Tug Boat 2x1200 HP Jayakarta I terhadap 6 derajat kebebasan gerak kapal di laut.
5. Kondisi uji Tug Boat 2x1200 HP adalah *LIGHT SHIP CONDITION*.

6. Tidak ada pembahasan mengenai lay out kamar mesin.

3.3.5. ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA

Dari data-data yang sudah ada dilakukan perhitungan & pembahasan dengan cara memvariasikan peletakan Schottel pada Tug Boat 2x1200 HP Jayakarta I Ada 2 hal pokok yang perlu di perhatikan dalam Analisa & pembahasan data yaitu:

1. Perhitungan Variasi peletakan Schottel terhadap Maneuverability Tug Boat 2x1200 HP Jayakarta I. Variasi peletakan Schottel ini di rencanakan akan di uji di 5 tempat di bawah lambung Tug Boat, yaitu

- i). Posisi 1 di Frame no.36 = $36 \times 500 \text{ mm}$ = 18 m
- ii). Posisi 2 di Frame no.38 = $37 \times 500 \text{ mm}$ = 19 m
- iii). Posisi 3 di Frame no. 40 = $39.8 \times 500 \text{ mm}$ = 20 m
- iv). Posisi 4 di Frame no. 42 = $42 \times 500 \text{ mm}$ = 21 m
- v). Posisi 5 di Frame no.43 = $43 \times 500 \text{ mm}$ = 21.5 m

2. Penentuan Parameter-parameter Optimisasi Peletakan Schottel di tinjau dari Tujuan Utama Tugas Akhir ini, antara lain:

- i). LWT Tug Boat
- ii). THP Schottel
- iii). Kecepatan Service (V_s)
- iv). Radius of Gyration (K_{zz} dan K_{yy})
- v). Tahanan Total (RT Dinas)
- vi). Berat Schottel (WS)
- vii). Sudut kemudi Schottel
- viii). Momen Statis Tug Boat (τ)
- ix). Variasi gerakan Tug boat terhadap 6^o kebebasan gerak kapal

antara lain yang pokok adalah Yawing dan Pitching

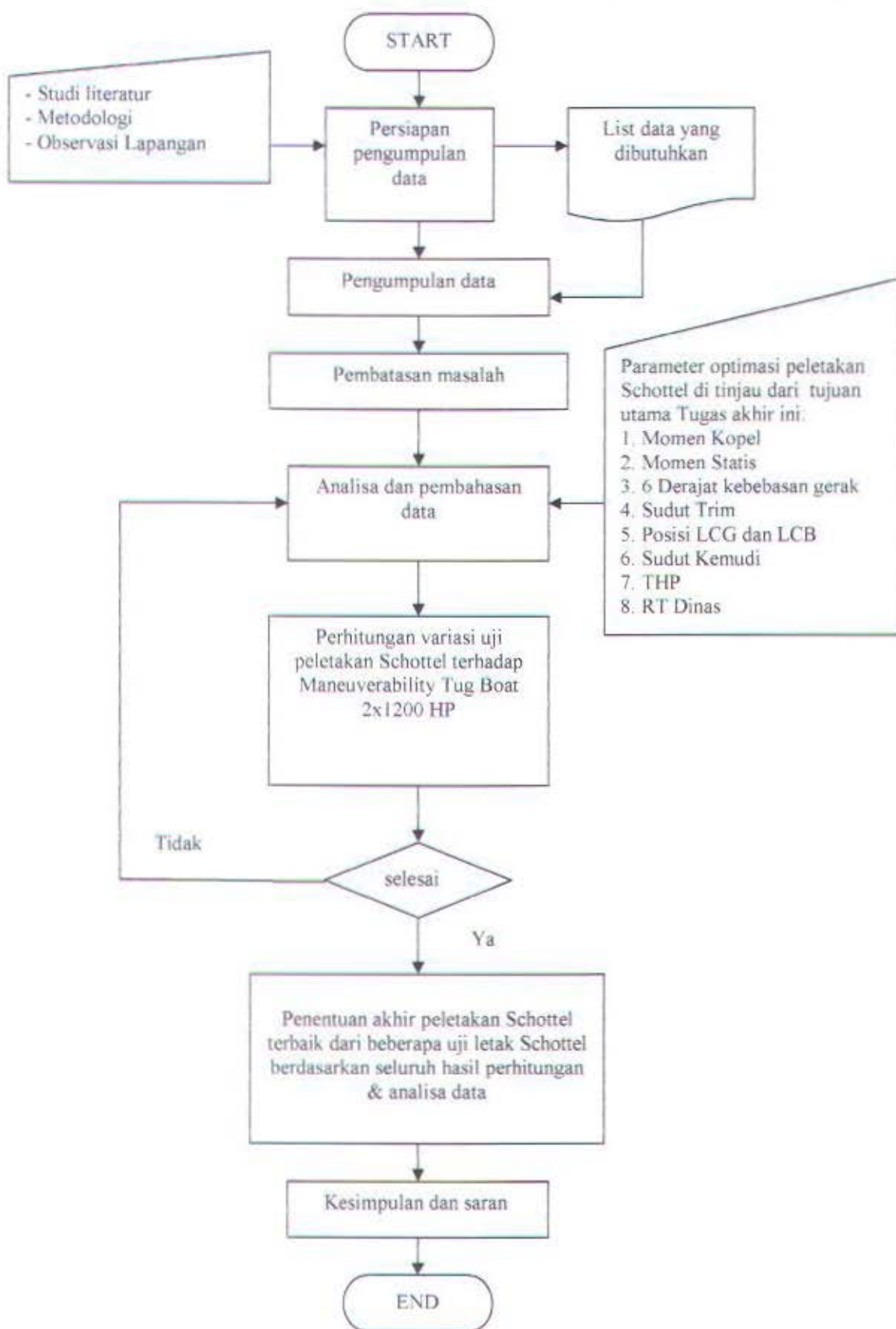
x). Posisi LCB dan LCG

3.3.6. PENENTUAN AKHIR PELETAKAN SCHOTTEL DARI BEBERAPA UJI PELETAKAN SCHOTTEL BERDASARKAN HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini penentuan letak Schottel akhir sudah bisa di tentukan,berdasarkan pertimbangan parameter-parameter yang sudah ditentukan.

3.3.7. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Dari hasil analisa data & pembahasan dapat ditarik kesimpulan akhir dari semua uji letak Schottel dan nantinya akan di rekomendasikan Peletakan Schottel Terbaik berdasarkan parameter-parameter yang sudah di tentukan dan kemudian di buat formulasinya agar bisa di aplikasikan dalam pembuatan Tug Boat Berikutnya.



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. ANALISA DATA

4.1.1. PELETAKAN SCHOTTEL TERHADAP STABILITAS DAN TITIK BERAT

Pada bab ini akan di bahas kharakteristik stabilitas dan letak Titik berat (G) dan Titik Apung (B) dari Tugboat 2 x 1200 HP Jayakarta I untuk masing-masing peletakan Schottel yaitu di Frame 36, 38, 40, 42 dan 43. Point pokok yang akan di hasilkan adalah letak Titik berat (G) ,Titik Apung (B) dan momen yang dihasilkan dari gaya-gaya di titik tersebut, hal itu sangat vital pengaruhnya terhadap kemampuan maneuver Tug Boat juga terhadap stabilitasnya pada saat bergerak mengingat kedua titik tersebut merupakan pusat dari gerakan-gerakan Tug Boat ,baik secara Rotasi maupun Translasi. Inti dari Tugas Akhir ini adalah **mencari peletakan Schottel yang paling optimal sekaligus membuktikan apakah peletakan Schottel yang sekarang di Frame 40 sudah optimal atau belum.** Untuk mempermudah analisa data maka Penulis akan menguji peletakan Schottel di Frame 40 sebagai titik acuan awal dari peletakan-peletakan Schottel di Frame-frame berikutnya. Satu catatan penting yang perlu di pahami adalah bahwa optimasi peletakan Schottel tidak harus tepat di Frame akan tetapi tidak menutup kemungkinan berada di luar Frame, sedangkan kondisi uji Tug Boat berada dalam keadaan

“ **LIGHT SHIP** ”atau beban kosong.Berikut ini adalah data utama dari
Tug Boat 2x1200 HP Jayakarta I:

PRINCIPAL PARTICULARS :

A. DATA UTAMA TUG BOAT:

1. LOA	: 30	m
2. LWL	: 28,4	m
3. LPP	: 28,4	m
4. Bm	: 9,5	m
5. T	: 4,6	m
6. Dead Weight	: 126,46	m
7. Light Ship Weight	: 374,979	m
8. Midship	: 14,2	m
	(200 mm di depan Frame 28)	
9. Frame Spacing	: 500 mm	

B. DATA SCHOTTEL:

1. Weight	: @ 4,5 Ton
2. Jumlah	: 2 Buah
3. Rotasi 180 ⁰	: 10 – 12 Sec

4.1.1.1 FRAME 40

Berdasarkan data “ **Inclining Test** ” Tug Boat 2x1200 HP pada kondisi
“ **Light Ship** ” diperoleh data –data sebagai berikut :

1. KG (VCG)	: 5,175 m
2. KM	: 7,037 m
3. GM = KM - KG	: 1,862 m

4. LCG : 15,78 m dari AP
: 15,78 m – 14,2 m
: 0,978 m (di depan Mid Ship)
5. TCG : 0,004 m dari Center Line ke
Starboard
6. Midship : 14,2 m dari FP
: 14,2 m dari AP
7. Displacement (Δ) : 374,979 Ton
8. LCB : 0,2568 m (di belakang Mid Ship)
9. VCB : 3,1375 m

Catatan LCB dan VCB diperoleh dari interpolasi tabel “ **Hydrostatic Properties** “ pada “ **Intact Stability Report** “ hal 41.

Tabel 4.1 Interpolasi antara Displacement,LCB,VCB dan Draft

Displacement (Ton)	LCB (m)	VCB (m)	Draft (T) (m)
374,77	0,257	3,137	4,060
374,979	0,2568	3,1375	4,061
379,28	0,253	3,148	4,080

Keterangan:

KG : Jarak Titik Berat Vertical diatas Lunas

KM : Jarak Titik Metacentric di atas Lunas

GM : Tinggi Metacentric dari Titik berat

LCG : Jarak Titik Berat memanjang dari AP

TCG : Jarak Titik Berat Melintang dari tengah Tug Boat (Mid Ship)

LCB : Jarak Titik Apung memanjang dari AP

VCB : Jarak Titik Apung Vertikal di atas Lunas

Δ : Displacement Tug Boat pada kondisi “LIGHT SHIP”

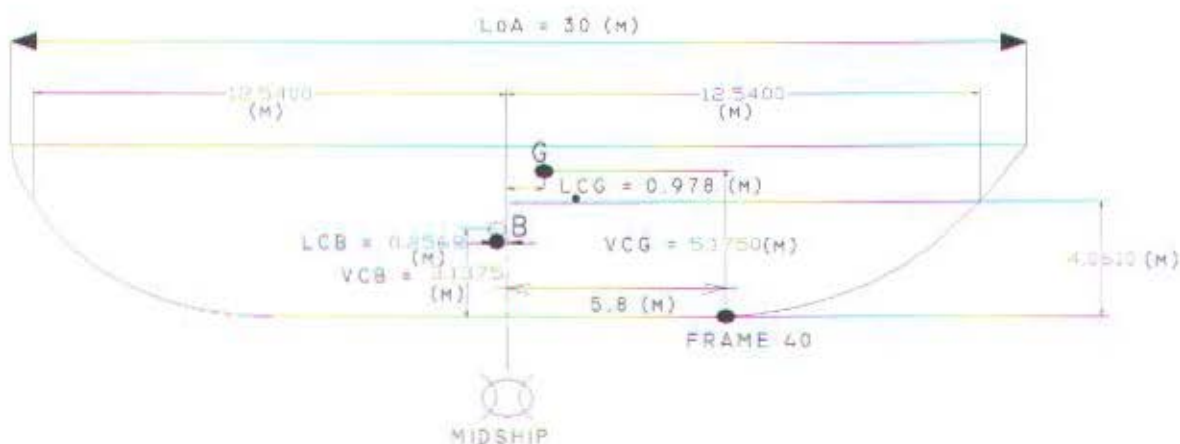
4.1.1.1.1. PERHITUNGAN MOMEN KOPEL($\Sigma \tau_{kop}$) ANTARA

GAYA APUNG(FB) DAN GAYA BERAT (W)

Tabel 4.2 Hukum perbandingan tetap antara Draft dan jarak Midship ke AP

Hukum Perbandingan Tetap	
Draft	Jarak dari midship (\textcircled{Q}) ke AP
4,6 m	14,2 m
4,061 m	12,54 m

PANDANGAN SAMPING



Gambar 4.1 Posisi titik berat di Frame 40 pada pandangan samping

Pada gambar 4.1. terlihat posisi bouyancy (B) dan gravitasi (G) tidak terletak dalam satu garis lurus sehingga akan menimbulkan *Momen Kopel* ($\Sigma \tau_{kop}$) pada body Tug Boat yang akan menimbulkan gerak Trim (Pitching). Berikut ini data-data yang diperlukan untuk menghitung besarnya momen kopel antara bouyancy (B) dan gravitasi (G):

g = percepatan gravitasi bumi = $9,8 \text{ m/s}^2$

ρ = berat jenis air laut = $1021,7 \text{ kg/m}^3$

Δ = displacement "Lightship" = $374,979 \text{ ton} \times 1000$
 $= 374979 \text{ kg}$

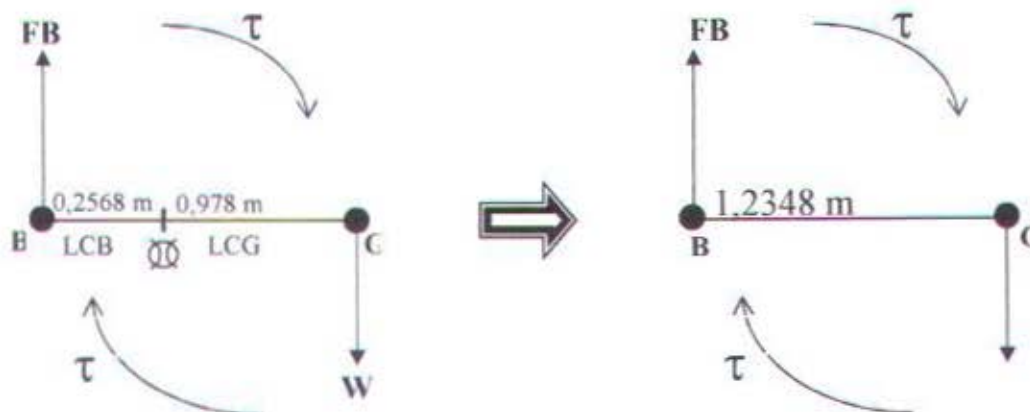
LCG = jarak dari midship ke G = $0,978 \text{ m}$

LCB = jarak dari B ke midship = $0,2568 \text{ m}$

FB = $\Delta \times g$
 $= 374979 \times 9,8$
 $= 3674794,2 \text{ N}$

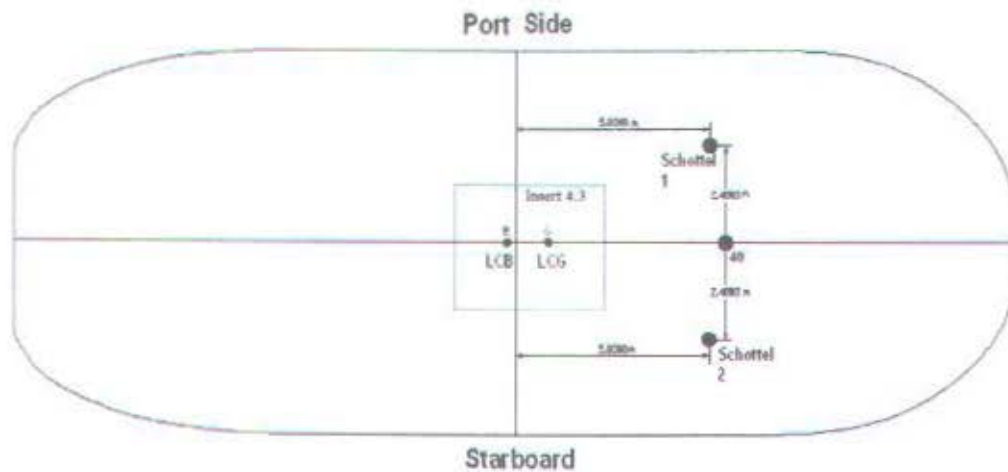
$W = FB = F = 3674794,2 \text{ N}$

$\Sigma \tau = F \times BG$
 $= 3674794,2 \times 1,2348$
 $= 4537635,878 \text{ Nm}$

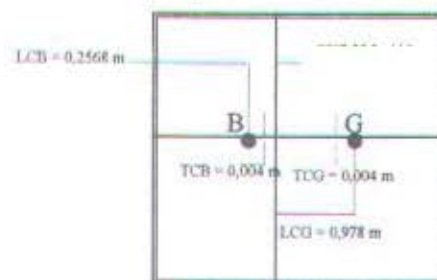


Gambar 4.2
Momen kopel antara B dan G di Frame 40

PANDANGAN ATAS

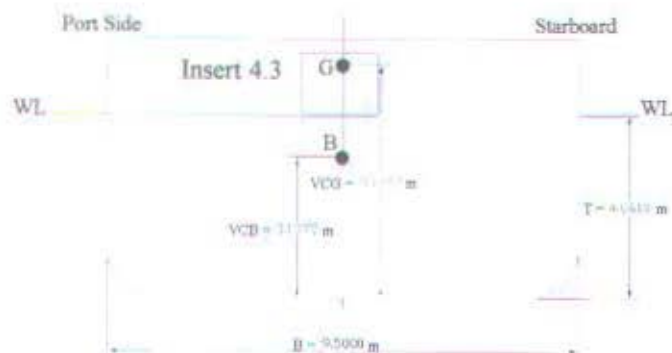


Gambar 4.3
Posisi B dan G di Frame 40 pada pandangan atas

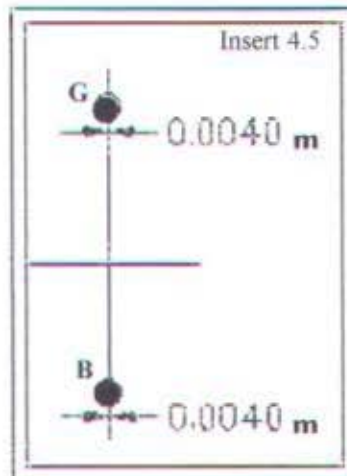


Gambar 4.4
Insert dari gambar 4.3

PANDANGAN DEPAN



Gambar 4.5 Posisi B dan G di Frame 40 pada pandangan depan



Gambar 4.6
Insert dari gambar 4.5

4.1.1.1.2. PERHITUNGAN LCG TANPA SCHOTTEL (LCG_0)

Untuk menghitung posisi LCG tanpa Schottel digunakan frame 40 sebagai acuan, hasilnya nanti akan digunakan untuk menghitung LCG di tiap-tiap frame dimana dua Schottel tersebut diletakkan. Dari pandangan atas untuk peletakkan Schottel di frame 40 didapatkan data-data sebagai berikut:

1. WS1 = Berat Schottel 1 = 4,5 ton
2. WS2 = Berat Schottel 2 = 4,5 ton
3. Δ_0 = Displacement Tug Boat tanpa Schottel
 $= \Delta - (WS1 + WS2)$
 $= 374,979 - (4,5 + 4,5)$
 $= 374,979 - 9$
 $= 365,979 \text{ Ton}$
4. Δ = Displacement total Tug Boat dengan dua Schottel
 $= 374,979 \text{ ton}$

5. LCG_{40} = Titik Berat memanjang di depan Midship dengan Schottel di

Frame 40

$$= 0,978 \text{ m}$$

6. $XS1$ = Jarak titik berat Schottel 1 ke midship

$$= 5,8 \text{ m}$$

7. $XS2$ = Jarak titik berat Schottel 2 ke midship

$$= 5,8 \text{ m}$$

8. LCG_0 = Titik Berat memanjang di depan midship tanpa dua Schottel

$$= 0,8594 \text{ m}$$

Jadi, LCG_0 dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$LCG_{40} \times \Delta = (WS1 \times XS1) + (WS2 \times XS2) + (\Delta_0 \times LCG_0)$$

$$(0,978) \times (374,979) = (4,5 \times 5,8) + (4,5 \times 5,8) + (365,979 \times LCG_0)$$

$$366,729462 = 26,1 + 26,1 + 365,979 LCG_0$$

$$366,729462 = 52,2 + 365,979 LCG_0$$

$$LCG_0 = \frac{314,529462}{365,979}$$

$$LCG_0 = 0,8594 \text{ m}$$

4.1.1.2. FRAME 36

Dari Frame 40 ke Frame 36, Schottel mengalami pergeseran sejauh 4 frame (2 m dari frame 40) atau 3,8 m di depan midship sehingga terjadi pergeseran LCG secara keseluruhan mendekati midship, sedangkan bouyancy (B) tidak mengalami perubahan.

4.1.1.2.1. Perhitungan LCG untuk Frame 36 (LCG_{36})

Data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. $WS1$ = berat Schottel 1 = 4,5 ton

2. WS_2 = berat Schottel 2 = 4,5 ton
3. Δ_0 = Displacement Tug Boat tanpa Schottel
- $$= \Delta - (WS_1 + WS_2)$$
- $$= 374,979 - (4,5 + 4,5)$$
- $$= 374,979 - 9$$
- $$= 365,979 \text{ Ton}$$
4. Δ = Displacement total Tug Boat dengan dua Schottel
- $$= 374,979 \text{ ton}$$
5. LCG_{40} = Titik berat memanjang di depan midship dengan Schottel di Frame 40
- $$= 0,978 \text{ m}$$
6. XS_1 = Jarak Titik Berat Schottel 1 ke midship
- $$= 3,8 \text{ m}$$
7. XS_2 = Jarak Titik Berat Schottel 2 ke midship
- $$= 3,8 \text{ m}$$
8. LCG_0 = Titik Berat memanjang di depan midship tanpa dua Schottel
- $$= 0,8594 \text{ m}$$

Jadi LCG_{36} dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$LCG_{36} = \frac{(WS_1 \times XS_1) + (WS_2 \times XS_2) + (\Delta_0 \times LCG_0)}{\Delta}$$
$$= \frac{(4,5 \times 3,8) + (4,5 \times 3,8) + (365,979 \times 0,8594)}{374,979}$$
$$= \frac{348,7223526}{374,979}$$
$$LCG_{36} = 0,929978352 \text{ m}$$

4.1.1.2.2. Perhitungan momen kopel ($\Sigma \tau_{kop}$) antara gaya bouyancy (FB) dan gaya berat (W)

Pada gambar 4.5, terlihat posisi bouyancy (B) dan gravitasi (G) tidak terletak dalam satu garis lurus sehingga akan menimbulkan *Momen Kopel* ($\Sigma \tau_{kop}$) pada body Tug Boat yang akan menimbulkan gerak trim (Pitching). Berikut ini data-data yang diperlukan untuk menghitung besarnya momen kopel antara bouyancy (B) dan gravitasi (G):

$$g = \text{Percepatan gravitasi bumi} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\rho = \text{Berat jenis air laut} = 1021,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \Delta &= \text{Displacement "Lightship"} = 374,979 \text{ ton} \times 1000 \\ &= 374979 \text{ kg} \end{aligned}$$

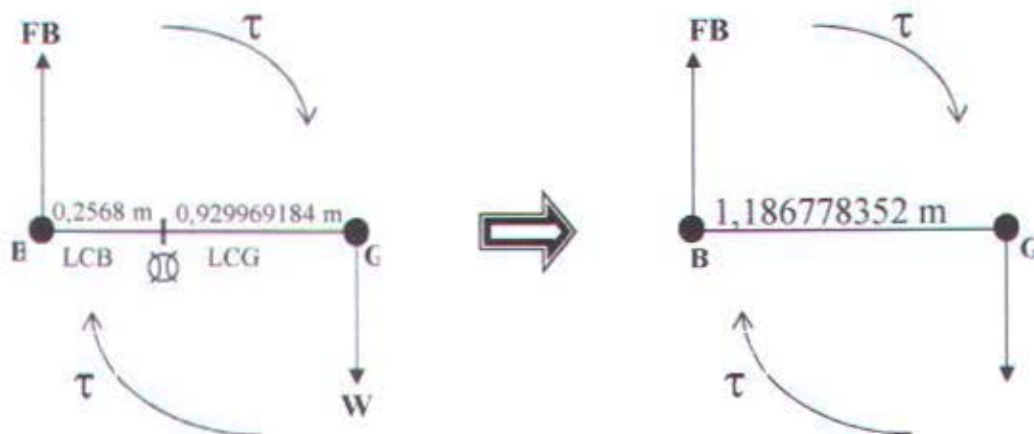
$$\text{LCG} = \text{Jarak dari midship ke G} = 0,929969184 \text{ m}$$

$$\text{LCB} = \text{Jarak dari B ke midship} = 0,2568 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{FB} &= \Delta \times g \\ &= 374979 \times 9,8 \\ &= 3674794,2 \text{ N} \end{aligned}$$

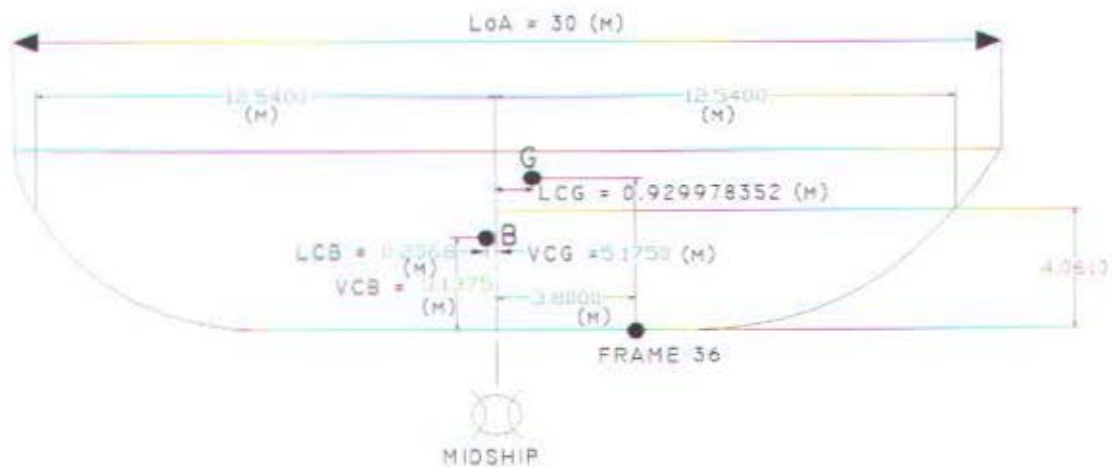
$$W = \text{FB} = F = 3674794,2 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \Sigma \tau_{kop} &= F \times BG \\ &= 3674794,2 \times 1,186778352 \\ &= 4361166,205 \text{ Nm} \end{aligned}$$



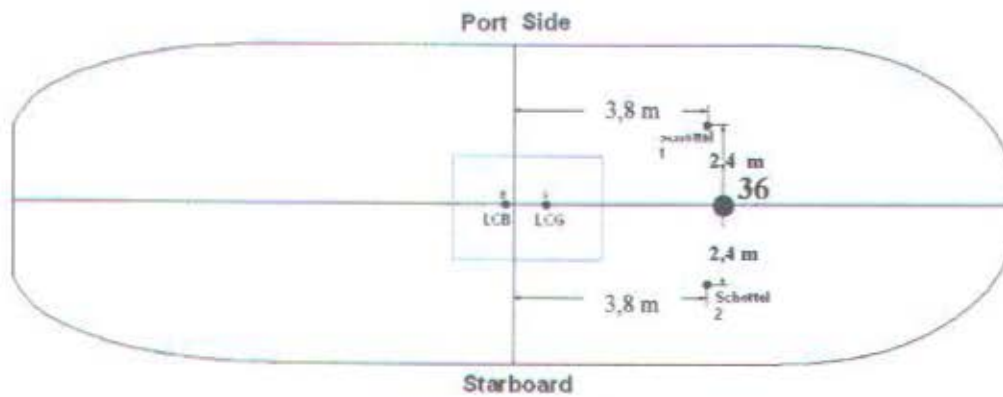
Gambar 4.7
Momen Kopel antara B dan G di Frame 36

PANDANGAN SAMPING

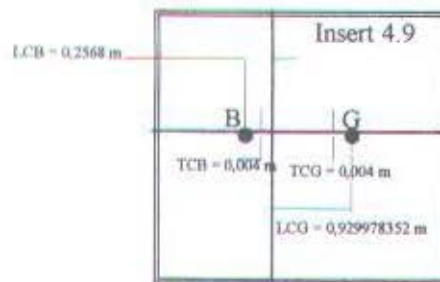


Gambar 4.8
Posisi antara B dan G di Frame 36 pada pandangan samping

PANDANGAN ATAS

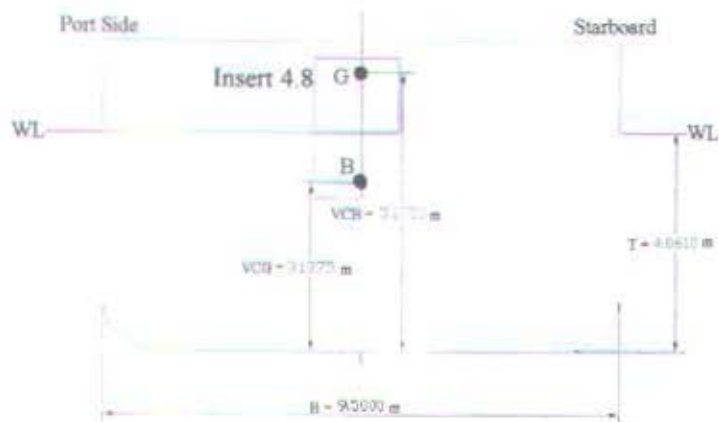


Gambar 4.9
Posisi antara B dan G di Frame 36 pada pandangan atas

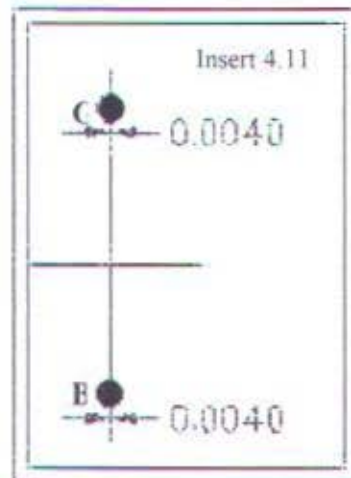


Gambar 4.10
Insert dari gambar 4.9

PANDANGAN DEPAN



Gambar 4.11
Posisi antara B dan G di Frame 36 pada pandangan depan



Gambar 4.12
Insert dari gambar 4.11

4.1.1.3. FRAME 38

Dari frame 40 ke frame 38, Schottel mengalami pergeseran sejauh 2 frame (1 m dari frame 40) atau 4,8 m di depan midship sehingga terjadi pergeseran LCG secara keseluruhan mendekati midship, sedangkan bouyancy (B) tidak mengalami perubahan.

4.1.1.3.1. Perhitungan LCG untuk Frame 38 (LCG₃₈)

Data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. WS1 = Berat Schottel 1 = 4,5 ton
2. WS2 = Berat Schottel 2 = 4,5 ton
3. Δ_0 = Displacement Tug Boat tanpa Schottel
 $= \Delta - (WS1 + WS2)$
 $= 374,979 - (4,5 + 4,5)$
 $= 374,979 - 9$
 $= 365,979 \text{ Ton}$
4. Δ = Displacement total Tug Boat dengan dua Schottel



$$= 374,979 \text{ ton}$$

5. LCG_{40} = Titik berat memanjang di depan midship dengan Schottel di
Frame 40

$$= 0,978 \text{ m}$$

6. $XS1$ = Jarak Titik Berat Schottel 1 ke midship
 $= 4,8 \text{ m}$

7. $XS2$ = Jarak Titik Berat Schottel 2 ke midship
 $= 4,8 \text{ m}$

8. LCG_0 = Titik Berat memanjang di depan midship tanpa dua Schottel
 $= 0,8594 \text{ m}$

Jadi LCG_{38} dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} LCG_{38} &= \frac{(WS1 \times XS1) + (WS2 \times XS2) + (\Delta_0 \times LCG_0)}{\Delta} \\ &= \frac{(4,5 \times 4,8) + (4,5 \times 4,8) + (365,979 \times 0,8594)}{374,979} \\ &= \frac{357,7223526}{374,979} \end{aligned}$$

$$LCG_{38} = 0,953979696 \text{ m}$$

4.1.1.3.2. Perhitungan Momen Kopel ($\sum \tau_{kop}$) Antara Gaya Bouyancy (FB)

Dan Gaya Berat (W)

Pada gambar 4.9. terlihat posisi Bouyancy (B) dan Gravitasi (G) tidak terletak dalam satu garis lurus sehingga akan menimbulkan *Momen Kopel* ($\sum \tau_{kop}$) pada body Tug Boat yang akan menimbulkan gerak trim (Pitching).

Berikut ini data-data yang diperlukan untuk menghitung besarnya Momen Kopel antara bouyancy (B) dan gravitasi (G):

$$g = \text{Percepatan gravitasi bumi} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\rho = \text{Berat jenis air laut} = 1021,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta = \text{Displacement "Lightship"} = 374,979 \text{ ton} \times 1000 \\ = 374979 \text{ kg}$$

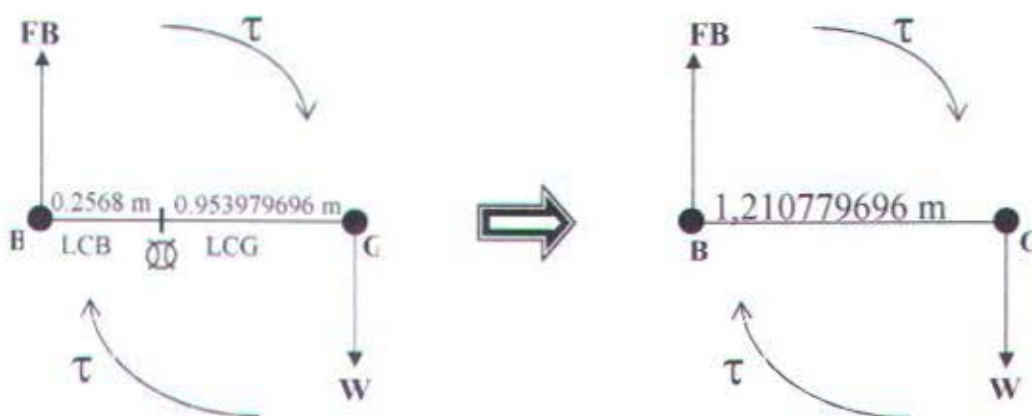
$$\text{LCG} = \text{Jarak dari midship ke G} = 0,953979696 \text{ m}$$

$$\text{LCB} = \text{Jarak dari B ke midship} = 0,2568 \text{ m}$$

$$\text{FB} = \Delta \times g \\ = 374979 \times 9,8 \\ = 3674794,2 \text{ N}$$

$$W = \text{FB} = F = 3674794,2 \text{ N}$$

$$\Sigma \tau_{\text{kop}} = F \times BG \\ = 3674794,2 \times 1,210779696 \\ = 4449366,204 \text{ Nm}$$



Gambar 4.13
Momen kopel antara B dan G di Frame 38

Diagram illustrating the stability parameters for a ship's hull cross-section. The diagram shows the hull shape and the location of the center of buoyancy (CB) and center of gravity (CG) relative to the midship line.

Key dimensions and parameters shown:

- $LCG = 0.953979696 \text{ (M)}$
- $LCB = 0.953979696 \text{ (M)}$
- $VCB = 0.953979696 \text{ (M)}$
- $VCG = 0.953979696 \text{ (M)}$
- FRAME 38
- MIDSHIP

Insert 4.15

$E'CB = 0.2508 \text{ m}$

$E'CB = 0.004 \text{ m}$

$E'CD = 0.004 \text{ m}$

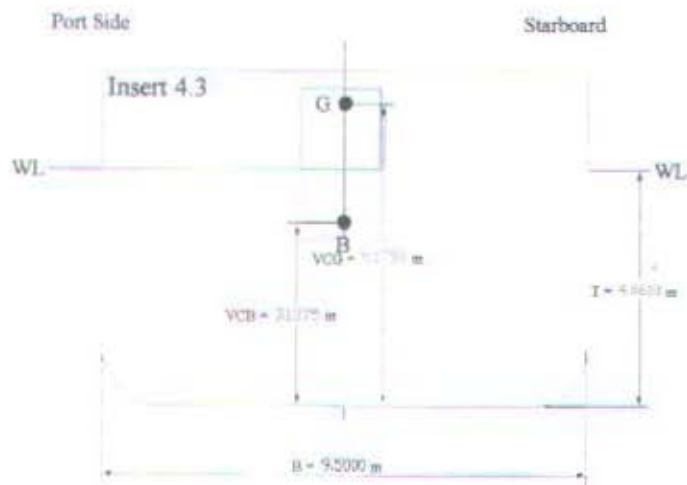
$E'DE = 0.004 \text{ m}$

$E'EF = 0.004 \text{ m}$

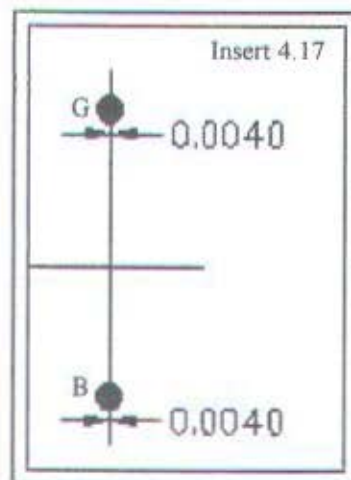
$h = 0.75 \text{ m}$

IV-16

PANDANGAN DEPAN



Gambar 4.17
Posisi antara B dan G di Frame 38 pada pandangan depan



Gambar 4.18
Insert dari gambar 4.17

4.1.1.4. FRAME 42

Dari Frame 40 ke Frame 42, Schottel mengalami pergeseran sejauh 2 Frame (1 m dari Frame 40) atau 6,8 m di depan Midship sehingga terjadi pergeseran LCG secara keseluruhan mendekati midship, sedangkan Bouyancy (B) tidak mengalami perubahan.

4.1.1.4.1. Perhitungan LCG untuk Frame 42 (LCG_{42})

Data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. WS_1 = Berat Schottel 1 = 4,5 ton
2. WS_2 = berat Schottel 2 = 4,5 ton
3. Δ_0 = Displacement Tug Boat tanpa Schottel
 $= \Delta - (WS_1 + WS_2)$
 $= 374,979 - (4,5 + 4,5)$
 $= 374,979 - 9$
 $= 365,979 \text{ Ton}$
4. Δ = Displacement total Tug Boat dengan dua Schottel
 $= 374,979 \text{ ton}$
5. LCG_{40} = Titik berat memanjang di depan midship dengan Schottel di frame

 40
 $= 0,978 \text{ m}$
6. XS_1 = Jarak titik berat Schottel 1 ke midship
 $= 6,8 \text{ m}$
7. XS_2 = Jarak Titik Berat Schottel 2 ke midship
 $= 6,8 \text{ m}$
8. LCG_0 = Titik Berat memanjang di depan midship tanpa dua Schottel
 $= 0,8594 \text{ m}$

Jadi LCG_{42} dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$LCG_{42} = \frac{(WS_1 \times XS_1) + (WS_2 \times XS_2) + (\Delta_0 \times LCG_0)}{\Delta}$$

$$= \frac{(4,5 \times 6,8) + (4,5 \times 6,8) + (365,979 \times 0,8594)}{374,979}$$

$$= \frac{375,7223526}{374,979}$$

$$LCG_{42} = 1,001982385 \text{ m}$$

4.1.1.4.2. Perhitungan momen kopel ($\Sigma \tau_{kop}$) antara gaya bouyancy (FB) dan gaya berat (W)

Pada gambar 4.13. terlihat posisi Bouyancy (B) dan Gravitasi (G) tidak terletak dalam satu garis lurus sehingga akan menimbulkan *Momen Kopel* ($\Sigma \tau_{kop}$) pada body Tug Boat yang akan menimbulkan gerak trim (Pitching). Berikut ini data-data yang diperlukan untuk menghitung besarnya momen kopel antara Bouyancy (B) dan Gravitasi (G):

$$g = \text{Percepatan gravitasi bumi} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\rho = \text{Berat jenis air laut} = 1021,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta = \text{Displacement "Lightship"} = 374,979 \text{ ton} \times 1000 \\ = 374979 \text{ kg}$$

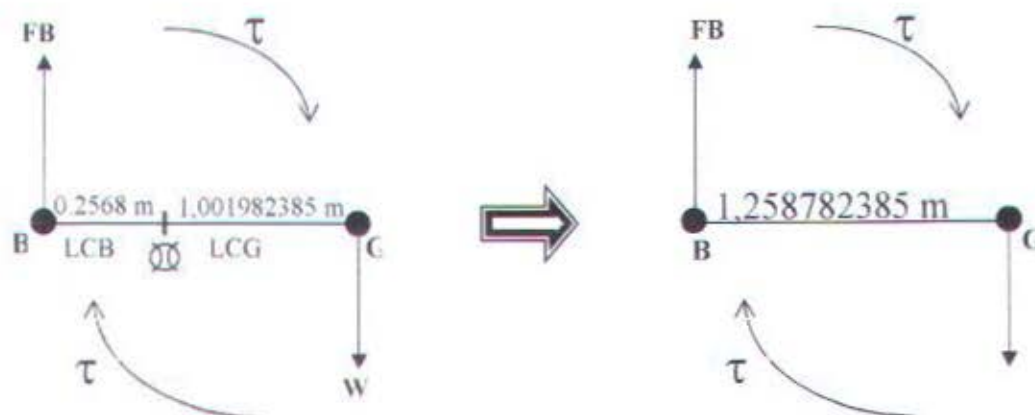
$$LCG = \text{Jarak dari midship ke G} = 1,001982385 \text{ m}$$

$$LCB = \text{Jarak dari B ke midship} = 0,2568 \text{ m}$$

$$FB = \Delta \times g \\ = 374979 \times 9,8 \\ = 3674794,2 \text{ N}$$

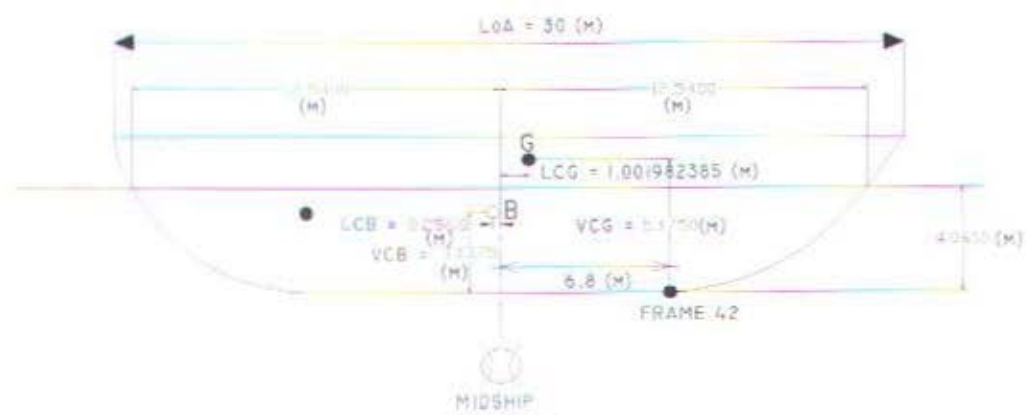
$$W = FB = F = 3674794,2 \text{ N}$$

$$\Sigma \tau = F \times BG \\ = 3674794,2 \times 1,258782385 \\ = 4625766,207 \text{ Nm}$$



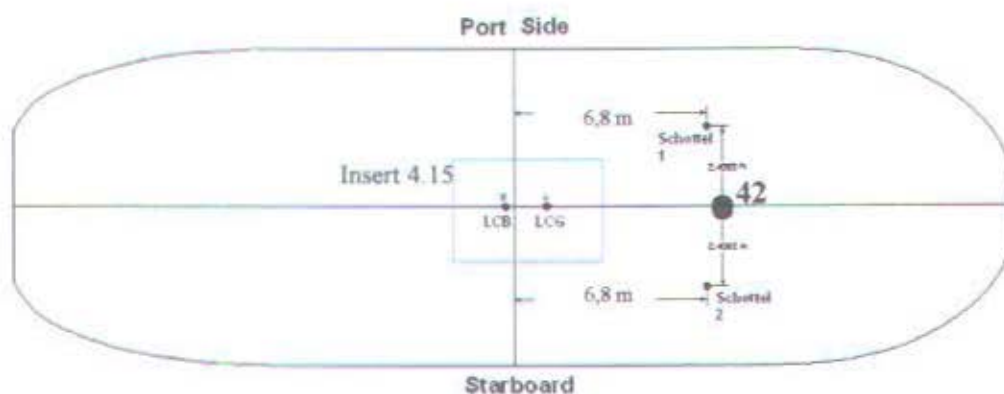
Gambar 4.19
Momen kopel antara B dan G di Frame 42

PANDANGAN SAMPING

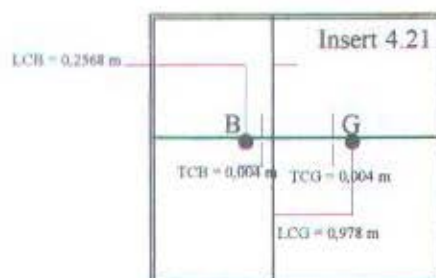


Gambar 4.20
Posisi antara B dan G di Frame 42 pada pandangan samping

PANDANGAN ATAS

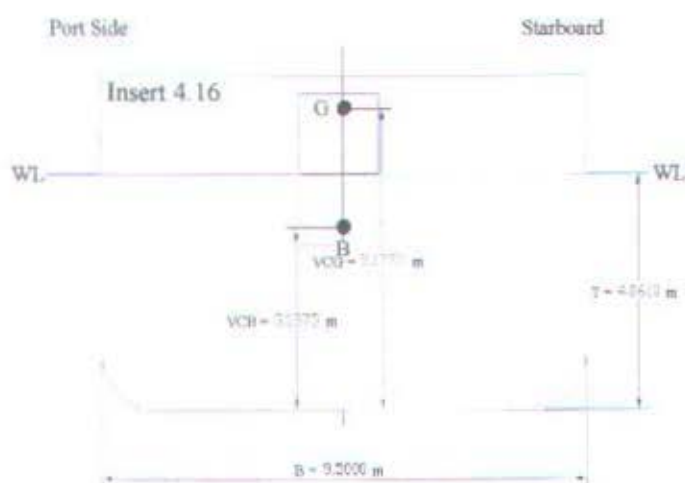


Gambar 4.21
Posisi antara B dan G di Frame 42 pada pandangan atas

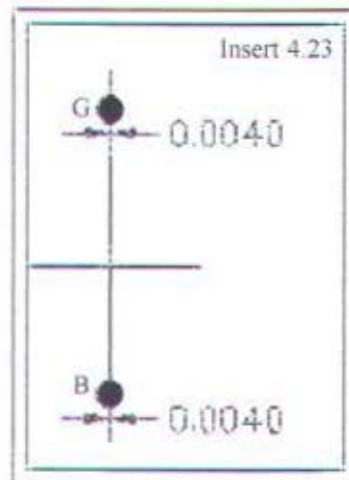


Gambar 4.22
Insert dari gambar 4.21

PANDANGAN DEPAN



Gambar 4.23
Posisi antara B dan G di Frame 42 pada pandangan depan



Gambar 4.24
Insert dari gambar 4.23

4.1.1.5. FRAME 43

Dari Frame 40 ke Frame 43, Schottel mengalami pergeseran sejauh 3 Frame (1,5 m dari frame 40) atau 7,3 m di depan midship sehingga terjadi pergeseran LCG secara keseluruhan mendekati midship, sedangkan Bouyancy (B) tidak mengalami perubahan.

4.1.1.5.1. Perhitungan LCG untuk Frame 43 (LCG₄₃)

Data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. WS1 = Berat Schottel 1 = 4,5 ton
2. WS2 = Berat Schottel 2 = 4,5 ton
3. Δ_0 = Displacement Tug Boat tanpa Schottel

$$\begin{aligned} &= \Delta - (WS1 + WS2) \\ &= 374,979 - (4,5 + 4,5) \\ &= 374,979 - 9 \\ &= 365,979 \text{ Ton} \end{aligned}$$

4. Δ = Displacement total Tug Boat dengan dua Schottel

$$= 374,979 \text{ ton}$$

5. LCG_{40} = Titik Berat memanjang di depan midship dengan Schottel di frame 40

$$= 0,978 \text{ m}$$

6. $XS1$ = Jarak Titik Berat Schottel 1 ke midship

$$= 7,3 \text{ m}$$

7. $XS2$ = Jarak Titik Berat Schottel 2 ke midship

$$= 7,3 \text{ m}$$

8. LCG_0 = Titik Berat memanjang di depan midship tanpa dua Schottel

$$= 0,8594 \text{ m}$$

Jadi LCG_{43} dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} LCG_{43} &= \frac{(WS1 \times XS1) + (WS2 \times XS2) + (\Delta_0 \times LCG_0)}{\Delta} \\ &= \frac{(4,5 \times 7,3) + (4,5 \times 7,3) + (365,979 \times 0,8594)}{374,979} \\ &= \frac{380,2223528}{374,979} \end{aligned}$$

$$LCG_{43} = 1,013983057 \text{ m}$$

4.1.1.5.2. Perhitungan momen kopel ($\sum \tau_{kop}$) antara gaya bouyancy (FB) dan gaya berat (W)

Pada gambar 4.17. terlihat posisi Bouyancy (B) dan Gravitasi (G) tidak terletak dalam satu garis lurus sehingga akan menimbulkan *Momen Kopel* ($\sum \tau$) pada body Tug Boat yang akan menimbulkan gerak Trim (Pitching). Berikut ini data-

data yang diperlukan untuk menghitung besarnya momen kopel antara Bouyancy (B) dan gravitasi (G):

$$g = \text{Percepatan gravitasi bumi} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\rho = \text{Berat jenis air laut} = 1021,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta = \text{Displacement "Lightship"} = 374,979 \text{ ton} \times 1000 \\ = 374979 \text{ kg}$$

$$\text{LCG} = \text{Jarak dari midship ke G} = 1,013983057 \text{ m}$$

$$\text{LCB} = \text{Jarak dari B ke midship} = 0,2568 \text{ m}$$

$$\text{FB} = \Delta \times g$$

$$= 374979 \times 9,8$$

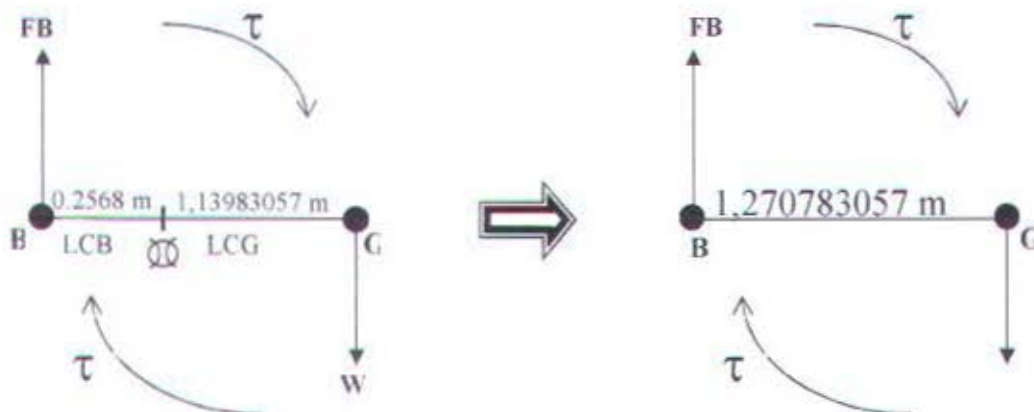
$$= 3674794,2 \text{ N}$$

$$W = \text{FB} = F = 3674794,2 \text{ N}$$

$$\Sigma \tau = F \times BG$$

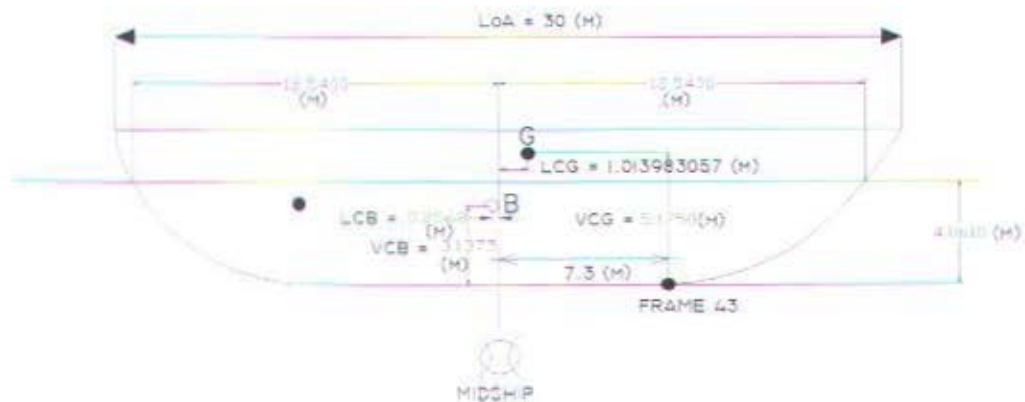
$$= 3674794,2 \times 1,270783057$$

$$= 4669866,2 \text{ Nm}$$



Gambar 4.25
Momen kopel antara B dan G di Frame 43

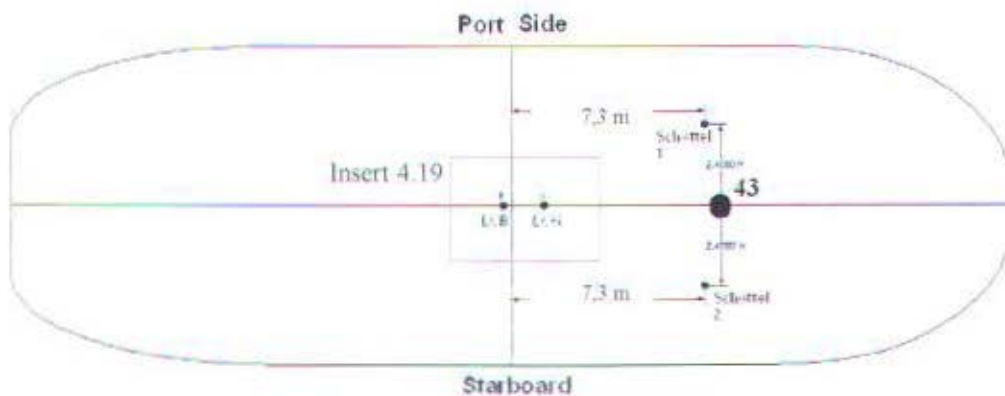
PANDANGAN SAMPING



Gambar 4.26

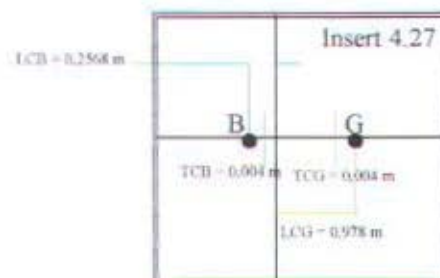
Posisi antara B dan G di Frame 43 pada pandangan samping

PANDANGAN ATAS



Gambar 4.27

Posisi antara B dan G di Frame 43 pada pandangan atas

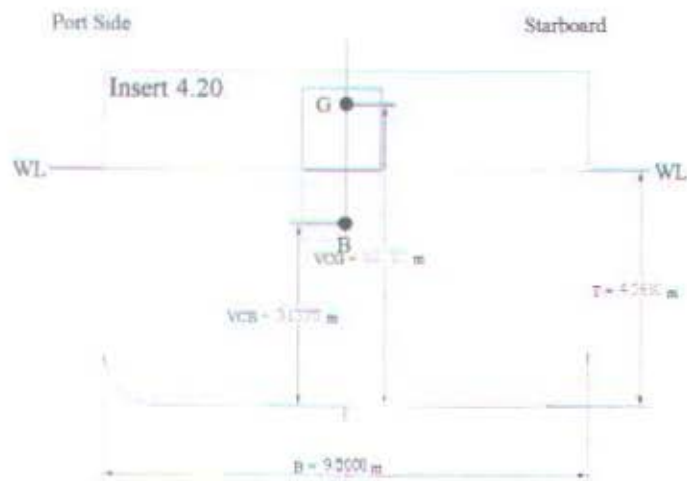


Gambar 4.28

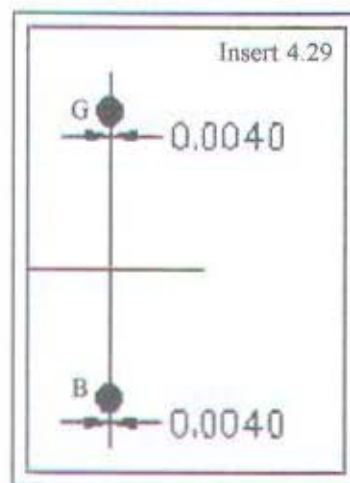
Insert dari gambar 4.27



PANDANGAN DEPAN



Gambar 4.29
Posisi antara B dan G di Frame 43 pada pandangan depan



Gambar 4.30
Insert dari gambar 4.29

4.1.1.6. PERHITUNGAN PELETAKAN SCHOTTEL AGAR TIDAK TERJADI MOMEN KOPEL ($\sum \tau_{kop}$) ANTARA BOUYANCY (B) DAN GRAVITY (G)

Dari data yang diperoleh penulis, posisi Bouyancy (B) dan Gravitasi (G) tidak terletak dalam satu garis lurus (jika dilihat pada pandangan samping) pada peletakkan Schottel di frame 40 sehingga akan timbul momen kopel yang menyebabkan gerakan trim pada body Tug Boat. Momen Kopel ini cukup berpengaruh pada kemampuan manuver Tug Boat terutama pada saat melakukan gerakan Surging dimana jika resultan momen terlalu besar maka akan menyebabkan Sudut Trim yang besar pula. Apabila sudut trim sudah terlalu ekstrem dan melampaui batas keamanan akan menyebabkan Tug Boat tenggelam terlebih lagi jika dipicu dengan bertambahnya kecepatan (V_s). Berikut ini gambar keadaan Tug Boat dengan Sudut Trim yang melampaui batas keamanan:

4.1.1.6.1. TUG BOAT DENGAN SUDUT TRIM KE DEPAN YANG MAKSIMAL (θ Maks)



Gambar 4.31
Tug Boat dengan Sudut Trim ke depan yang maksimal (θ Maks)

Perhitungan ketinggian dari Waterline ke Main Deck bagian **Haluan (HB)**

berdasarkan gambar Tug Boat di "*Intact Stability Report*" halaman 25:

Tabel 4.3 Hubungan antara Draft buritan dengan ketinggian dari LWL ke Main Deck haluan

Draft pada Haluan (HS)		Ketinggian dari LWL ke Main Deck Haluan (PQ)	
Draft sebenarnya	Draft pada gambar	PQ sebenarnya	PQ Gambar
4,238 m	1,95 cm	5,75 m	2,65 cm

$$\frac{\text{Draft sebenarnya buritan}}{\text{PQ sebenarnya}}$$

$$= \frac{\text{Draft gambar buritan}}{\text{PQ gambar}}$$

$$\frac{4,238}{\text{PQ}}$$

$$= \frac{1,95}{2,65}$$

$$\text{PQ Sebenarnya}$$

$$= 5,75 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi total dari Keel ke Main Deck Haluan} = \text{Draft haluan sebenarnya} + \text{PQ sebenarnya}$$

$$= 4,6 + 5,75$$

$$= 0,35 \text{ m}$$

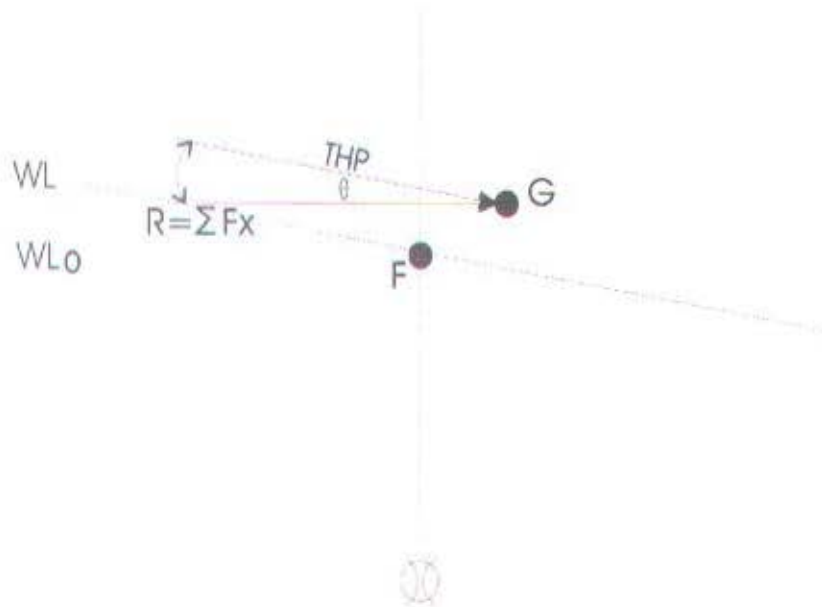
$$\text{Pada saat kondisi "Light Ship" dimana draft} = 4,061 \text{ maka ketinggian dari WL ke Main Deck Haluan (HB)}$$

$$= 10,35 - 4,061$$

$$= 6,289 \text{ m}$$

Pada gambar diatas dapat dijelaskan bahwa pada saat Schottel di geser peletakannya jauh ke depan Mid Ship, maka Titik Berat Kapal (G) akan ikut

bergeser ke depan. Jika posisi G dan B tetap tidak dalam satu garis akan terjadi Momen Kopel ($\sum \tau_{kop}$) yang membuat Tug Boat mengalami Trim ke depan. Apabila sudut Trim yang terjadi akibat pergeseran Schottel tersebut terlalu ekstrim maka akan membuat Tug boat cepat tenggelam seiring dengan bertambahnya kecepatan maju (V_s), hal ini terlihat bahwa pada saat Trim kedepan (Trimming by Bow), Sarat bagian uritan Naik mendekati Main Deck Haluan dan jika diteruskan akan menenggelamkan seluruh badan Tug Boat. Berikut ini penguraian dan perhitungan gaya-gaya yang terjadi pada body Tug Boat saat bergerak maju:



Gambar 4.32 Resultan gaya pada saat Tug Boat kondisi Trim bergerak maju

Dari data yang di peroleh: $THP > RT$

$$FB_0 = W_0$$

Sehingga dari gambar diatas diuraikan Resultan gayanya sebagai berikut :

$$\sum FX = THP - RT$$

$$\sum FY = FB - W = 0$$

$$R = \sqrt{\sum FX^2 + \sum FY^2}$$

$$R = \sum FX$$



$$\alpha = \arctan \left[\frac{\sum FX}{\sum FY} \right]$$

$$FB = FBo \cos \theta^\circ$$

$$W = Wo \cos \theta^\circ$$

Keterangan :

$\sum FX$ = Resultan gaya terhadap sumbu x (Newton)

$\sum FY$ = Resultan gaya terhadap sumbu y (Newton)

R = Resultan gaya total (Newton)

α = Arah Resultan gaya total (Degrees)

Bo = Mid Ship Tug Boat sebelum Trim

B = Mid Ship Tug Boat sesudah Trim

FBo = Gaya Apung Tug Boat pada kondisi awal sebelum terjadi Trim (Newton)

FB = Gaya Apung Tug Boat setelah mengalami Sudut Trim sebesar θ° (Newton)

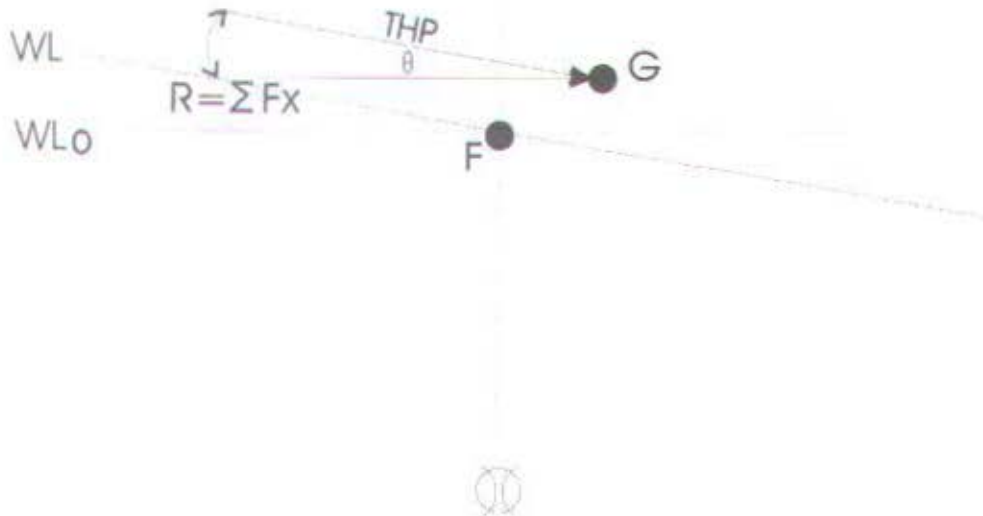
Wo = Gaya berat Tug Boat pada kondisi awal sebelum terjadi Trim (Newton)

W = Gaya Berat Tug Boat setelah mengalami sudut Trim sebesar θ° (Newton)

θ = Sudut Trim Tug Boat(Degrees)



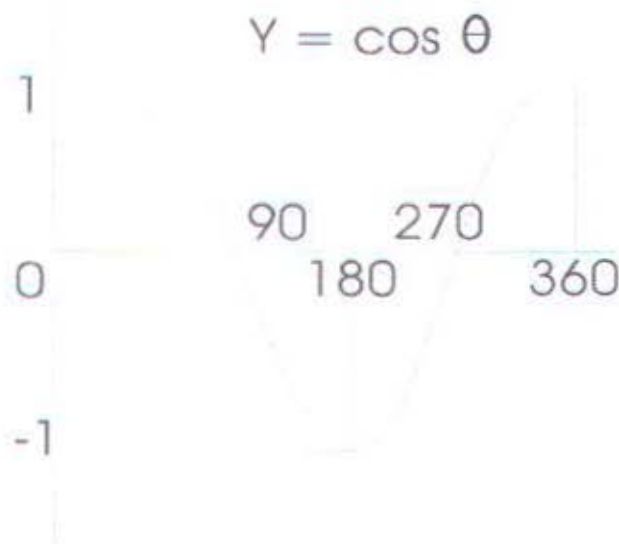
Jadi Resultan gaya total (R) dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.33

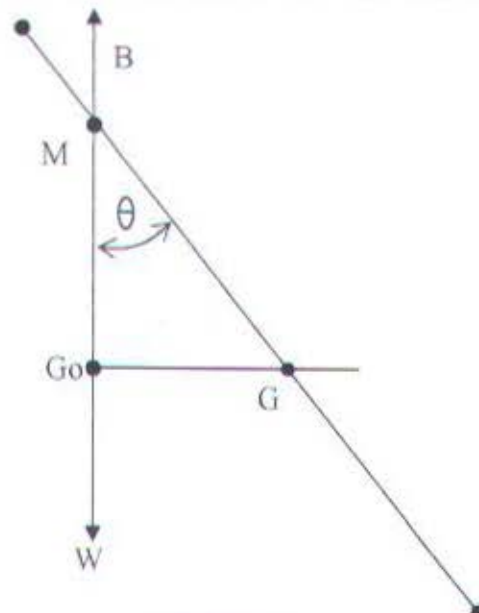
Resultan Gaya total pada saat Tug Boat kondisi Trim bergerak maju

Perlu diketahui bahwa Range nilai $\cos \theta^\circ$ adalah $(-1 \leq \cos \theta^\circ \leq 1)$, dari grafik $\cos \theta^\circ$ dibawah ini terlihat bahwa nilai $\cos \theta^\circ$ turun dari sudut $0^\circ \rightarrow 180^\circ$ kemudian naik lagi $180^\circ \rightarrow 360^\circ$



Grafik 4.1
Grafik nilai Cos θ

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa agar Tug Boat dalam kondisi aman pada saat **Trim kedepan** maka sudut Resultan (R) terhadap sumbu x (α) harus sebesar mungkin, sehingga secara otomatis besarnya sudut Trim harus sekecil mungkin. Hal ini hanya dapat dicapai apabila pergeseran Titik Berat (G o) ke titik berat akhir (G) akibat pergeseran Schottel juga sekecil mungkin. Berikut ini uraian persamaan untuk menentukan besarnya sudut Trim pada Tug Boat :



Gambar 4.34
Hubungan Sudut Trim terhadap Jarak Go dan G

$$\tan \theta = \frac{G Go}{Go M}$$

$$\theta = \arctan \left[\frac{G Go}{Go M} \right]$$

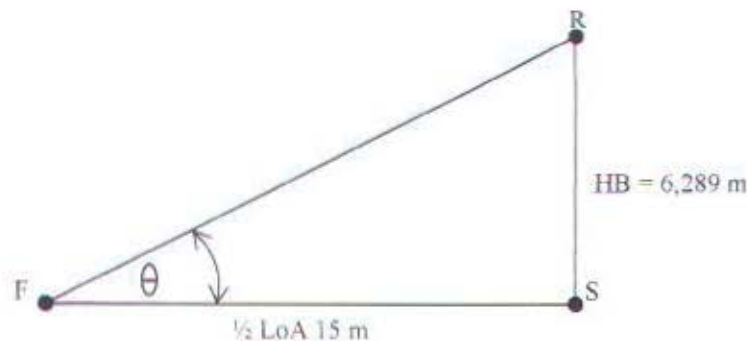
keterangan :

- θ = Sudut Trim (Degrees)
- M = Titik Meta Center
- B = Gaya apung (Newton)
- W = Gaya berat (Newton)
- G o = Titik berat awal

G = Titik berat akhir

G G o = Pergeseran dari G → G o

Berdasarkan gambar 4.21 dapat dihitung Sudut Trim maksimal (θ maks) yang menyebabkan sarat Tug Boat sudah tepat menyentuh bibir **Main Deck Haluan** adalah sebagai berikut :

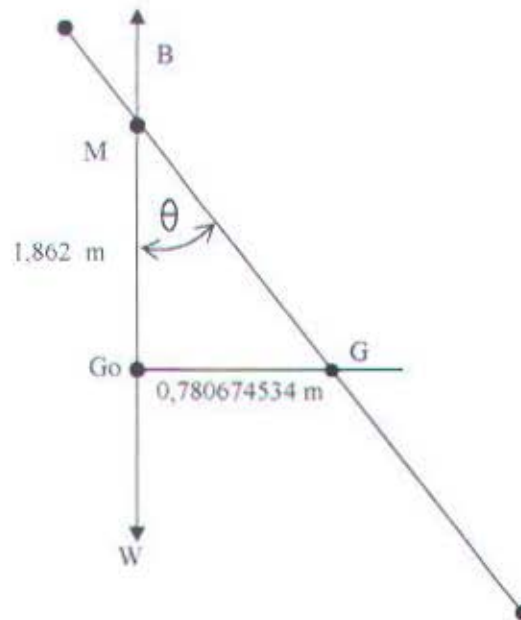


Gambar 4.35

Sudut Trim maksimal Tug Boat dimana sarat air tepat menyentuh Main Deck Haluan

$$\begin{aligned}\tan \theta \text{ maks} &= \frac{HB}{\frac{1}{2} LOA} \\ &= \frac{6,289}{15} \\ &= 0,419266667 \\ \theta \text{ maks} &= 22,75^\circ\end{aligned}$$

Pada saat mencapai $\theta \text{ maks} = 22,75^\circ$, air sudah tepat menggenangi Main Deck Haluan dimana jika ditambah kecepatan maju (Vs) maka Tug Boat akan langsung tenggelam. Dengan menggunakan Frame 40 sebagai acuan awal dari posisi titik berat (Go), maka posisi Go G untuk mencapai $\theta \text{ maks}$ dapat diperkirakan dengan perhitungan sebagai berikut :



Gambar 4.36

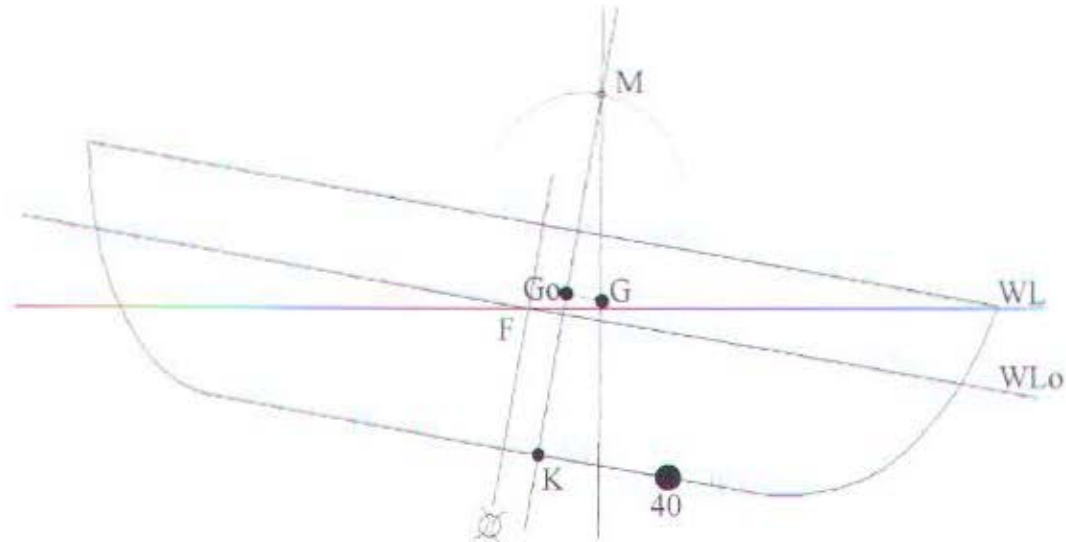
Hubungan Sudut Trim kedepan terhadap Jarak Go dan G dengan Frame 40 sebagai Titik Acuan

$$\tan \theta \text{ maks} = \frac{G Go}{Go M}$$

$$\begin{aligned} G Go &= \tan \theta \text{ maks} \cdot Go M \\ &= 1,862 \times \tan 22,75^\circ \\ &= 1,862 \times 0,419266667 \\ &= 0,780674534 \text{ m} \end{aligned}$$

- Titik Berat Tug Boat (Go) harus bergeser kebelakang ke titik berat (G) sejauh 0,58342046 m untuk mencapai θ maks, sehingga prediksi posisi Schottel yang baru dapat dihitung sebagai berikut :

4.1.1.6.1.1. PERHITUNGAN JARAK SCHOTTEL BARU (X_{BARU})
DENGAN FRAME 40 SEBAGAI ACUAN UNTUK MENCARI
SUDUT TRIM KEDEPAN MAKSIMAL



Gambar 4.37
Jarak Schottel baru yang menyebabkan Sudut Trim maksimal ke depan

$$K_{Go} = 5,175 \text{ m}$$

$$Go\ M = 1,862\ m$$

$$G_{Go} = 0,780674534 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Go} \rightarrow \text{Mid} &= 0,978 + 0,780674534 \\ &= 1,758674534 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{LCG}_{\text{BARU}} = G \rightarrow \text{Mid}$$

$$LCG_{\text{BARU}} = 1.758674534 \text{ m}$$

$$LCG_{BARU} = \frac{WS1 \cdot X_{BARU} + WS2 \cdot X_{BARU} + \Delta_o \cdot LCG_o}{\Delta}$$

$$1,758674534 = \frac{(4,5 + 4,5) \cdot X_{\text{BARU}} + (365,979 \times 0,8594)}{374,979}$$

$$659,4660181 = 9 \cdot X_{\text{BARU}} + 314,5223526$$

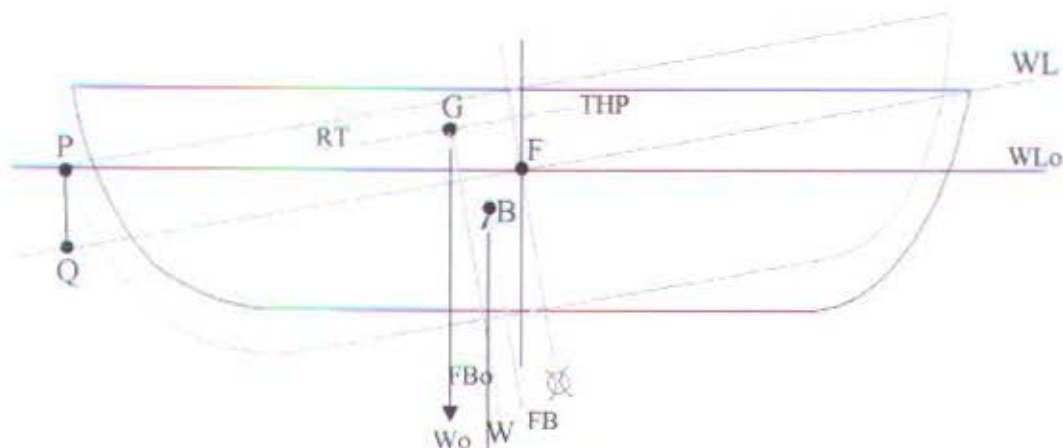
$$344,9436655 = 9 \cdot X_{\text{BARU}}$$

$$X_{\text{BARU}} = \frac{344,9436655}{9}$$

$$X_{\text{BARU}} = 38,32707394 \text{ m dari Mid Ship ke depan Tug Boat}$$

- ❖ Untuk mendapatkan $\theta_{\text{maks}} = 22,75^\circ$ tersebut maka posisi 2 Schottel harus diletakkan sejauh **38,32707394 m** dari Mid Ship Tug Boat ke arah **Haluan**. Hal ini mustahil terjadi mengingat panjang Tug Boat dari Mid Ship ke haluan hanya 15 m saja, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa pergeseran 2 buah Schottel @ 4,5 ton ke arah Haluan Tug Boat tidak akan pernah menghasilkan sudut Trim ke depan yang maksimal hingga membuat posisi sarat menyentuh bibir Main Deck bagian Haluan. Hal ini diakibatkan berat kedua buah Schottel tersebut jauh lebih kecil di bandingkan berat Tug Boat tersebut secara keseluruhan, sehingga pengaruh pergeserannya tidak signifikan terhadap perubahan Titik Berat (G) Tug Boat.

4.1.1.6.2. TUG BOAT DENGAN SUDUT TRIM MAKSIMAL KE BURITAN TUG BOAT



Gambar 4.38
Penguraian Gaya pada Tug Boat pada terjadi Trim ke Buritan yang maksimal

Perhitungan ketinggian dari Water Line ke Main Deck bagian buritan (Hs)

berdasarkan gambar Tug Boat di “ **Intact Stability Report** “ Hal 25 :

Tabel 4.4 Hubungan antara Draft buritan dengan ketinggian dari LWL ke Main Deck buritan

Draft pada Buritan		Ketinggian dari Wl ke Main Deck Buritan (RS)	
Draft sebenarnya	Draft pada gambar	RS sebenarnya	RS gambar
4,238 m	1,95 cm	3,69 m	1,7 cm

$$\frac{\text{Draft sebenarnya}}{\text{RS sebenarnya}} = \frac{\text{Draft pada gambar}}{\text{RS pada gambar}}$$

$$\frac{4,238}{\text{RS}} = \frac{1,95}{1,7}$$

$$\text{RS} = 3,69 \text{ m}$$

$$\text{RS sebenarnya} = 3,69 \text{ m}$$

Ketinggian total dari Keel ke Main Deck Buritan

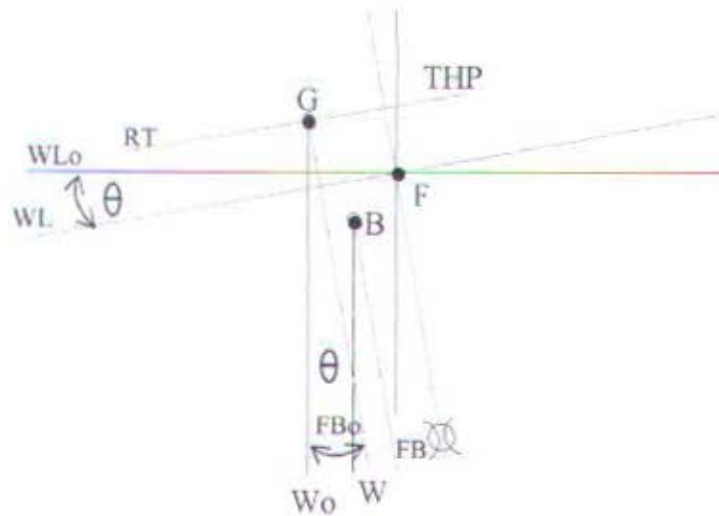
$$\begin{aligned} &= \text{Draft sebenarnya} + \text{RS sebenarnya} \\ &= 4,238 \text{ m} + 3,69 \text{ m} \\ &= 7,928 \text{ m} \end{aligned}$$

- Pada saat kondisi “ **LIGHT SHIP** “ dimana Draft = 4, 061 m maka ketinggian Wl ke Main Deck Buritan (Hs) adalah :

$$H_s = 7,928 - 4,061$$

$$H_s = 3,867 \text{ m}$$

Pada gambar diatas dapat dijelaskan bahwa pada saat Schottel digeser peletakannya jauh dibelakang Mid Ship, maka Titik Berat kapal (G) akan ikut bergeser kebelakang. Jika posisi G dan B tetap tidak dalam satu garis akan terjadi Moment Kopel (τ_{kop}) yang membuat Tug Boat mengalami Trim kebelakang. Apabila sudut Trim yang terjadi akibat pergeseran Schottel tersebut terlalu ekstrim maka akan membuat Tug Boat cepat tenggelam seiring dengan bertambahnya kecepatan mundur (Vs), hal ini terlihat bahwa saat Trim kebelakang (Trim by Stern) sarat bagian naik mendekati Main Deck dan jika diteruskan akan menenggelamkan seluruh badan Tug Boat. Berikut ini penguraian dan perhitungan gaya – gaya yang terjadi pada body Tug Boat saat bergerak mundur :



Gambar 4.39
Penguraian gaya pada Tug Boat saat terjadi Trim ke buritan

Dari data yang diperoleh = THP > RT

$$FBo = Wo$$

Sehingga dari gambar diatas diuraikan Resultan gayanya sebagai berikut :

$$\sum FX = \text{THP} - \text{RT}$$

$$\sum F_Y = FB - W = 0$$

$$R = \sqrt{\Sigma FX^2 + \Sigma FY^2}$$

$$R = \sum FX$$

$$\alpha = \arctan \left[\frac{\sum FX}{\sum FY} \right]$$

$$F_B = F_{B0} \cos \theta$$

$$W = W_0 \cos \theta^\circ$$

Keterangan :

$\sum FX$ = Resultan gaya terhadap sumbu x (Newton)

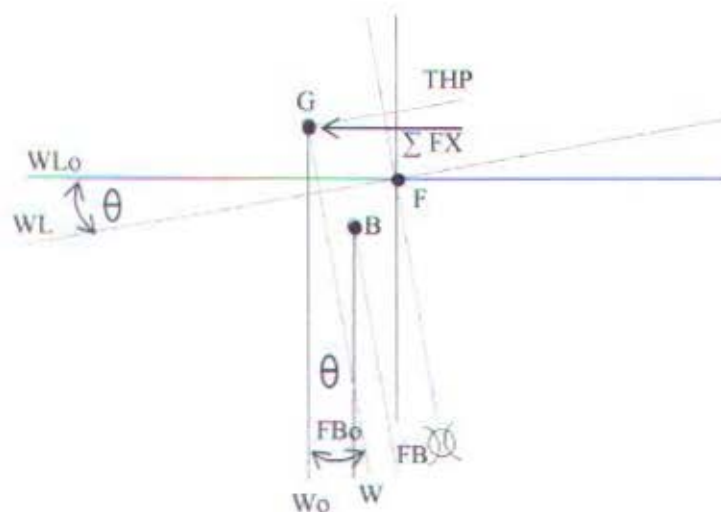
$\sum FY$ = Resultan gaya terhadap sumbu y (Newton)

R = Resultan gaya total (Newton)

α = Arah Resultan gaya total (Degrees)

- Midship o = Mid Ship Tug Boat sebelum Trim
- Midship = Mid Ship tug Boat sesudah Trim
- FB o = Gaya apung Tug Boat pada kondisi awal sebelum terjadi Trim (Newton)
- FB = Gaya apung Tug Boat setelah mengalami sudut Trim sebesar θ° (Newton)
- W o = Gaya berat Tug Boat pada kondisi awal sebelum terjadi Trim (Newton)
- W = Gaya berat Tug Boat setelah mengalami sudut Trim sebesar θ° (Newton)
- θ = Sudut Trim Tug Boat

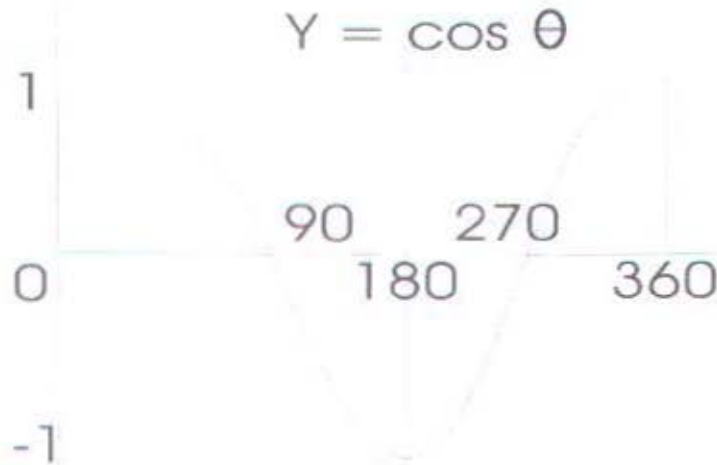
Jadi Resultan gaya total (R) dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.40

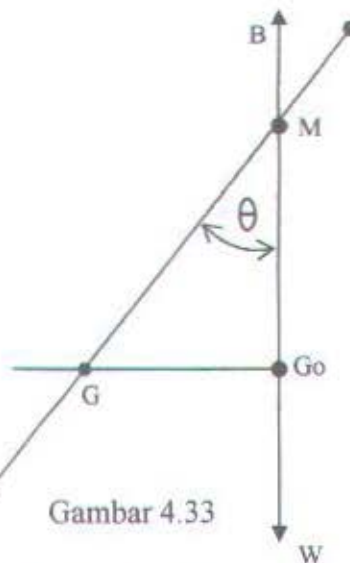
Resultan gaya total pada saat Tug Boat kondisi Trim dan bergerak mundur

Perlu diketahui bahwa Range nilai $\cos \theta^\circ$ adalah $(-1 \leq \cos \theta^\circ \leq 1)$, dari grafik $\cos \theta^\circ$ dibawah ini terlihat bahwa nilai $\cos \theta^\circ$ turun dari sudut $0^\circ \rightarrow 180^\circ$ kemudian naik lagi $180^\circ \rightarrow 360^\circ$



Grafik 4.2
Grafik nilai Cos θ

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa agar Tug Boat dalam kondisi aman pada saat **Trim kebelakang** maka sudut Resultan (R) terhadap sumbu x (α) harus sebesar mungkin, sehingga secara otomatis besarnya sudut Trim harus sekecil mungkin. Hal ini hanya dapat dicapai apabila pergeseran titik berat (G o) ke titik bert akhir (G) akibat pergeseran Schottel juga sekecil mungkin. Berikut ini uraian persamaan untuk menentukan besarnya sudut Trim pada Tug Boat :



Gambar 4.33

Gambar 4.41

Hubungan antara sudut Trim ke belakang terhadap jarak G_o dan G di Frame 40

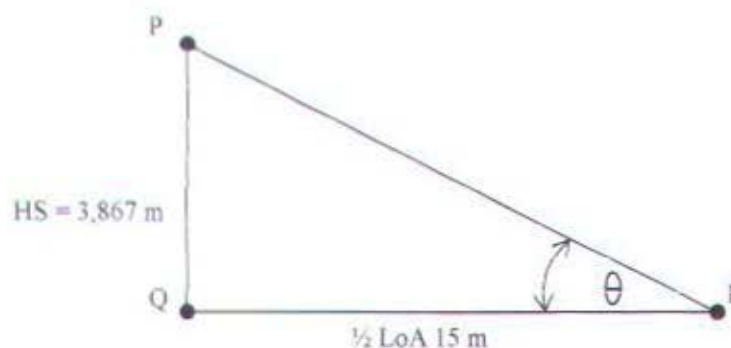
$$\tan \theta = \frac{G G_o}{G_o M}$$

$$\theta = \arctan \left[\frac{G G_o}{G_o M} \right]$$

keterangan :

- θ = Sudut Trim (Degrees)
- M = Titik Metacenter
- B = Gaya apung (Newton)
- W = Gaya berat (Newton)
- G_o = Titik berat awal
- G = Titik berat akhir
- $G G_o$ = Pergeseran dari $G \rightarrow G_o$

Berdasarkan gambar 4.29 dapat dihitung Sudut Trim maksimal (θ maks) yang menyebabkan sarat Tug Boat sudah tepat menyentuh bibir Main Deck Buritan dengan Center Flootation (F) berada pada perpotongan Center Line dan Mid Ship. Berikut ini adalah perhitungan sudut Trim maksimum (θ maks) :



Gambar 4.42
Sudut Trim maksimal Tug Boat dimana sarat air tepat menyentuh Main Deck buritan

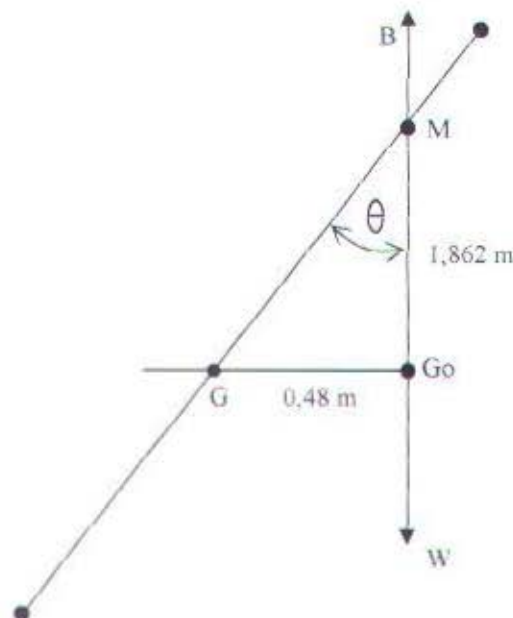
$$\tan \theta \text{ maks} = \frac{HS}{\frac{1}{2} LOA}$$

$$= \frac{3,867}{15}$$

$$= 0,2578$$

$$\theta \text{ maks} = 14,46^\circ$$

Pada saat mencapai $\theta \text{ maks} = 14,46^\circ$, air sudah tepat mengenai Main Deck Buritan dimana jika ditambah kecepatan mundur (V_s) maka Tug Boat akan langsung tenggelam. Dengan menggunakan Frame 40 sebagai acuan awal dari posisi titik berat (G_o), maka posisi GoG untuk mencapai sudut Trim maksimum ($\theta \text{ maks}$) dapat diperkirakan dengan perhitungan sebagai berikut :



Gambar 4.43

Hubungan sudut Trim ke belakang maksimal terhadap jarak G_o dan G dengan Frame 40 sebagai titik acuan

$$\tan \theta \text{ maks} = \frac{G G_o}{G_o M}$$

$$G G_o = \tan \theta \text{ maks} \cdot G_o M$$

$$= 1,862 \times \tan 22,75^\circ$$

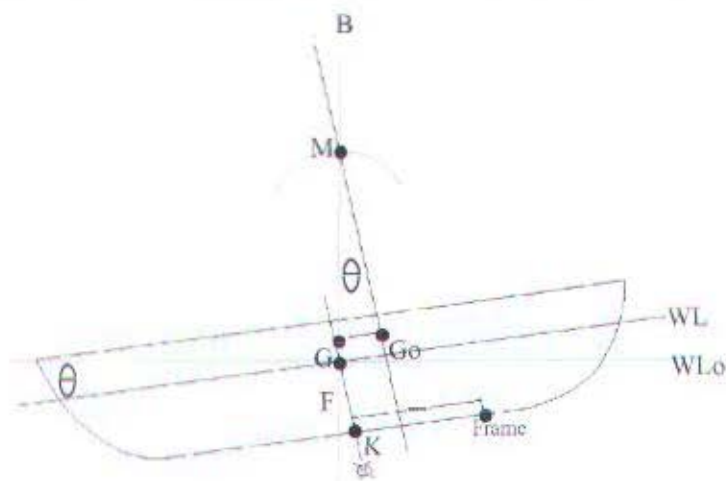
$$= 1,862 \times 0,419266667$$

$$= 0,780674534 \text{ m}$$

- Titik Berat Tug Boat (G_o) harus bergeser kebelakang ke titik berat (G) sejauh 0,58342046 m untuk mencapai θ maks, sehingga prediksi posisi

Schottel yang baru dapat dihitung sebagai berikut :

**4.1.1.6.2.1. PERHITUNGAN JARAK SCHOTTEL BARU
(X_{BARU}) DENGAN FRAME 40 SEBAGAI ACUAN UNTUK
MENCARI SUDUT TRIM MAKSIMAL KE BELAKANG**



Gambar 4.44
Jarak Schottel baru yang menyebabkan sudut Trim maksimal ke belakang

Keterangan :

1. KGo = 5,175 m
2. GoM = 1,862 m
3. GoG = 0,48 m
4. $Go \rightarrow$ Midship = 0,978 m
5. $G \rightarrow$ Midship = 0,978 m - 0,48 m
= 0,498 m
6. LCG_{BARU} = $G \rightarrow$ Midship
 LCG_{BARU} = 0,498 m
7. Momen Statis (MC) = $W \times GoG$
= 3674794,2 x 0,48

$$= 1763901,216 \text{ N}$$

$$LCG_{\text{BARU}} = \frac{WS1 \cdot X_{\text{BARU}} + WS2 \cdot X_{\text{BARU}} + \Delta_o \cdot LCG_o}{\Delta}$$

$$0,498 = \frac{(4,5 + 4,5) \cdot X_{\text{BARU}} + (365,979 \times 0,8594)}{374,979}$$

$$186,739542 = 9 \cdot X_{\text{BARU}} + 314,5223526$$

$$-9 X_{\text{BARU}} = 314,5223526 - 186,739542$$

$$-9 X_{\text{BARU}} = 127,7828106$$

$$X_{\text{BARU}} = \frac{127,7828106}{-9}$$

$$X_{\text{BARU}} = -14,19809 \text{ m dari Mid Ship ke belakang Tug Boat}$$

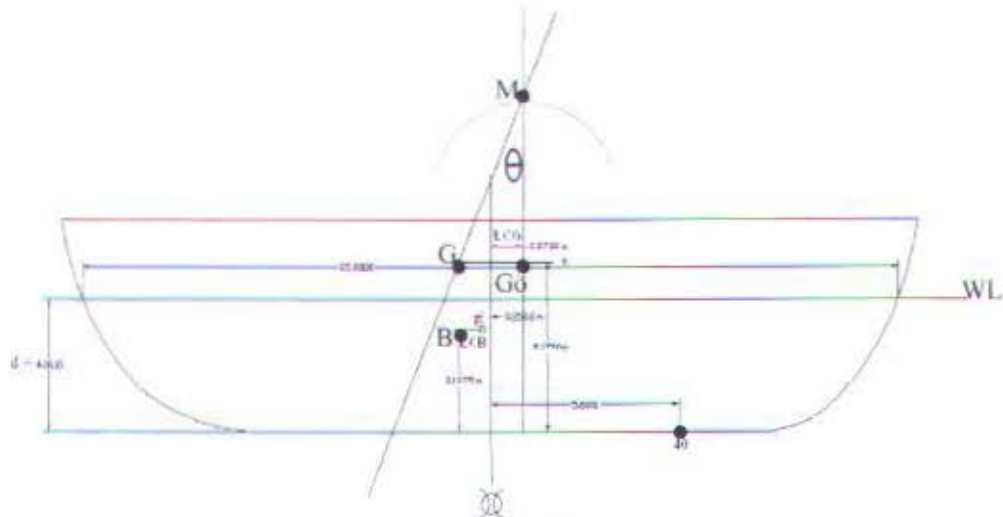
- Posisi 2 Schottel yang baru adalah berada 14,19809 m di belakang Mid Ship, sehingga untuk mencapai sudut Trim kebelakang maksimal maka posisi 2 Schottel @ 4,5 ton tersebut harus berada pada jarak 14,19809 m dibelakang Mid Ship.

4.1.1.6.3 PENENTUAN LETAK SCHOTTEL DIMANA POSISI BOUYANCY (B) DAN GRAVITY (G) TERLETAK PADA SATU GARIS LURUS PADA PANDANGAN SAMPING

Setelah menentukan posisi Schottel pada keadaan Sudut Trim yang ekstrim baik “ Trimming by Stren “ maupun “ Trimming by Bow “ maka langkah selanjutnya adalah penentuan letak Schottel dimana posisi G dan B nantinya berada dalam satu garis lurus sehingga tidak ada Momen kopel (τ_{kop}) akibat reaksi 2 buah gaya yang berlawanan tersebut. Dengan menggunakan acuan Frame

40 sebagai posisi awal letak Center Tug Boat, posisi Schottel dapat dibentuk dalam cara sebagai berikut :

PANDANGAN SAMPING



Gambar 4.45
Posisi Schottel yang menyebabkan letak G dan B segaris

$$\begin{aligned}
 K G_0 &= 5,175 \text{ m} \\
 G_0 M &= 1,862 \text{ m} \\
 K M &= K G_0 + G_0 M \\
 &= 5,175 + 1,862 \\
 &= 7,037 \text{ m} \\
 G_0 G &= LCG + LCB \\
 &= 0,978 + 0,2568 \\
 &= 1,2348 \text{ m} \\
 \tan \theta &= \frac{G_0 G}{G_0 M} \\
 &= \frac{1,2348}{1,862} \\
 &= 0,663157894
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta &= \arctan (0,663157894) \\ &= 33,55^\circ\end{aligned}$$

Dengan Midship sebagai titik acuan maka posisi Schottel (saat G dan B berada dalam satu garis lurus dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}LCG_{BARU} &= \frac{WS1 \cdot X_{BARU} + WS2 \cdot X_{BARU} + \Delta_o \cdot LCG_o}{\Delta} \\ -0,2568 &= \frac{(4,5+4,5) \cdot X_{BARU} + (365,979 \times 0,8594)}{374,979} \\ -96,2946072 &= 9 \cdot X_{BARU} + 314,5223526 \\ -9 X_{BARU} &= 314,5223526 + 96,2946072 \\ -9 X_{BARU} &= 410,8169598 \\ X_{BARU} &= \frac{410,8169598}{-9} \\ X_{BARU} &= -45,64632887 \text{ m dari belakang Mid Ship}\end{aligned}$$

Jadi untuk mendapatkan posisi G & B terletak dalam satu garis lurus pada pandangan samping, maka 2 Schottel tersebut harus diletakkan **45,64632887 m** di belakang Mid Ship. Hal ini juga sangat tidak mungkin mengingat panjang Tug Boat di belakang Mid Ship hanya **15 m** saja sehingga jika hanya **mengatur posisi 2 Schottel saja** untuk mendapatkan posisi G & B yang segaris adalah **sangat tidak mungkin** karena pengaruh dari berat 2 Schottel tersebut terhadap berat Tug Boat tidaklah signifikan. Jadi jalan tengah yang bisa diusahakan untuk mendapatkan posisi Schottel yang optimal terhadap stabilitas Tug Boat adalah dengan memilih dari **5 letak** yang sudah ditentukan dari awal yaitu di **Frame 36, 38, 40, 42, 43** karena Schotel – Schottel tersebut hanya memungkinkan dipindah – pindah posisinya di Frame - Frame tersebut. Alasan yang mendukung pernyataan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Antara Range Frame 36 hingga Frame 43 adalah **pararel**

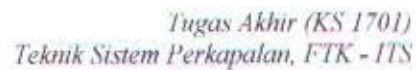
Middle Body Tug Boat, yang paling memungkinkan dan realistis untuk tempat Schottel karena selama Schottel – Schottel tersebut diletakkan didaerah Frame 36 → Frame 43 maka keberadaanya tidak akan berpengaruh pada equipment – equipment di sekitarnya seperti tangki – tangki dan generator. Untuk lebih jelasnya, lihat gambar Tug Boat di lampiran “ **Intact Stability Report** ” hal 15 tentang posisi Schottel beserta posisi equipment –equipment disekelilingnya.

2. Apabila Schottel diletakkan diluar Range yang sudah ditentukan

diatas, maka konsekuensinya cukup berat karena selain mengganggu keberadaan equipment – equipment yang lain, juga akan mengubah struktur konstruksi Tug Boat, misalnya jika 2 Schottel diletakkan dibagian Buritan maka diperlukan konstruksi baru yang khusus untuk pemasangan Schottel tersebut. Karena bentuk Buritan Tus Boat tersebut bukan merupakan pararel Middle body (lihat lampiran “ **Intact Stability Report** ” hal 15). Dan jika dibuat konstruksi baru buat pemasangan Schottel maka diperlukan biaya tambahan yang tidak sedikit pula. Jadi harus benar – benar dipertimbangkan baik buruknya keputusan pemilihan letak Schottel yang dikehendaki.

3. Dari segi Manuverability, peletakan Schottel di Frame 36 hingga 43

Membuat **manuver Tug Boat menjadi lebih leluasa jangkauannya** karena lebih dekat dengan titik berat (G) dan titik apung (B) dibandingkan diluar area Frame – Frame tersebut diatas.



4.1.1.7.1. BERDASARKAN JARAK ANTARA (B) DAN (G) UNTUK
TIAP-TIAP FRAME DIMANA SCHOTTEL DI LETAKKAN

1. Jarak antara B dan G untuk Frame 36
$$= LCG + LCB$$
$$= 0,929978352 + 0.2568$$
$$= 1,186778352 \text{ m}$$
2. Jarak antara B dan G untuk Frame 38
$$= LCG + LCB$$
$$= 0,953979696 + 0.2568$$
$$= 1,210779696 \text{ m}$$
3. Jarak antara B dan G untuk Frame 40
$$= LCG + LCB$$
$$= 0.978 + 0.2568$$
$$= 1,2348 \text{ m}$$
4. Jarak antara B dan G untuk Frame 42
$$= LCG + LCB$$
$$= 1,001982385 + 0.2568$$
$$= 1,258782385 \text{ m}$$
5. Jarak antara B dan G untuk Frame 43
$$= LCG + LCB$$
$$= 1,013983057 + 0.2568$$
$$= 1,27078305 \text{ m}$$

Dari data di atas dapat dilakukan pemilihan letak Schottel terbaik dengan cara memilih peletakan Schottel yang menyebabkan jarak Bouyancy (B) dan Gravity (G) paling dekat. Diantara 5 peletakan Schottel tersebut yang memiliki jarak antara B dan G yang paling dekat adalah di **Frame 36** yaitu **1,1867786352 m**.



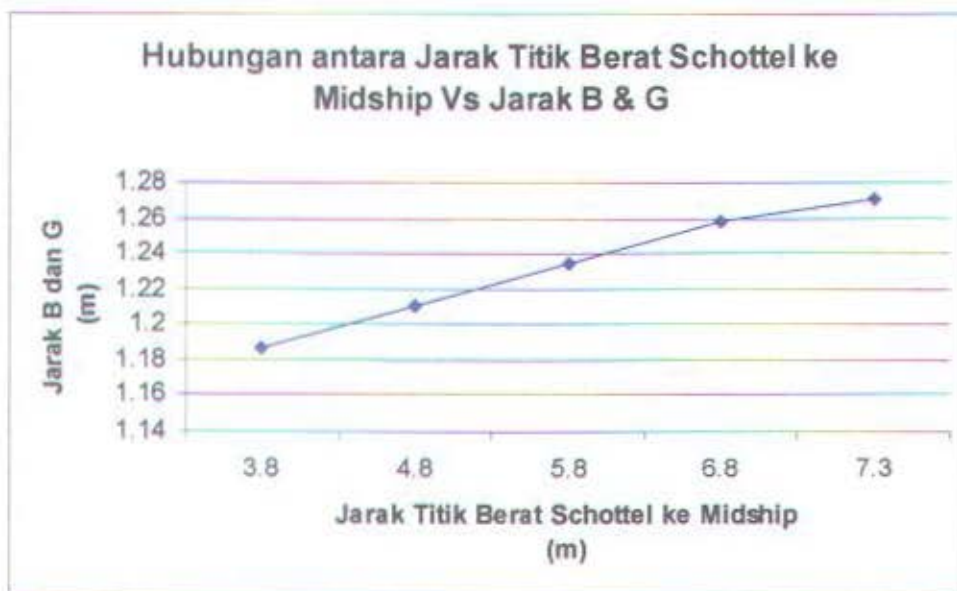
Dasar pemilihan ini adalah bahwa jika posisi B dan G dekat maka Momen Kopel total terhadap Midship ($\sum \tau_{kop}$) akibat reaksi dua buah gaya tersebut dapat diperkecil sehingga kondisi Tug Boat menjadi lebih stabil.

- Hubungan antara jarak B dan G terhadap jarak titik berat Schottel ke Midship dapat digambarkan secara grafik sebagai berikut :

Tabel 4.5 Hubungan antara jarak B dan G terhadap jarak titik berat Schottel ke Midship

FRAME	Jarak Titik Berat Schottel Terhadap Midship (m)	Jarak Antara B dan G (m)
36	3,8	1,186778352
38	4,8	1,210779696
40	5,8	1,234800000
42	6,8	1,258782385
43	7,3	1,270783050

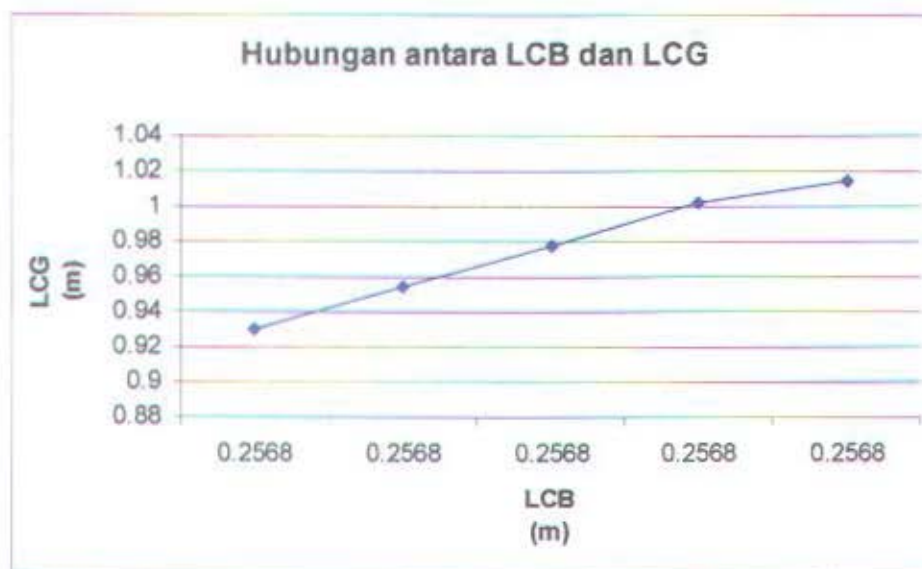




Grafik 4.3 Hubungan antara jarak titik berat Schottel ke Midship terhadap jarak B dan G

Tabel 4.6 Hubungan antara LCB dan LCG di tiap – tiap Frame uji

FRAME	LCB (Di belakang Midship) (m)	LCG (di depan Midship) (m)
36	0.2568	0,929978352
38	0.2568	0,953979696
40	0.2568	0,978
42	0.2568	1,001982385
43	0.2568	1,013983027



Grafik 4.4 Hubungan antara LCB terhadap LCG

Dari grafik di atas dapat dijelaskan bahwa letak titik berat 2 buah Schottel menyebabkan pergeseran letak LCG, sedangkan LCB tidak mengalami perubahan. Idealnya adalah posisi B dan G harus terletak dalam satu garis lurus agar tidak terjadi Momen Kopel ($\sum \tau_{kop}$) sehingga Tug Boat menjadi stabil pergerakannya. Akan tetapi berdasarkan yang sudah dilakukan pada pokok bahasan terdahulu didapatkan hasil bahwa jika hanya menggeser letak 2 buah Schottel @4,5 ton di sepanjang lambung Tug Boat tidak akan pernah di capai posisi B dan G yang segaris. Jadi solusi terbaik untuk pemilihan letak Schottel adalah memilih peletakan Schottel yang membuat posisi B dan G sedekat mungkin dan yang memenuhi kriteria tersebut adalah Frame 36.

4.1.1.7.2. BERDASARKAN MOMEN KOPEL TOTAL ($\sum \tau_{kop}$) YANG DI HASILKAN UNTUK TIAP-TIAP FRAME PELETAKAN SCHOTTEL

1. Untuk Frame 36 $\rightarrow (\sum \tau_{kop}) = 4361132,514 \text{ Nm}$
2. Untuk Frame 38 $\rightarrow (\sum \tau_{kop}) = 4449366,204 \text{ Nm}$
3. Untuk Frame 40 $\rightarrow (\sum \tau_{kop}) = 4537635,878 \text{ Nm}$
4. Untuk Frame 42 $\rightarrow (\sum \tau_{kop}) = 4625766,206 \text{ Nm}$
5. Untuk Frame 43 $\rightarrow (\sum \tau_{kop}) = 4669866,200 \text{ Nm}$

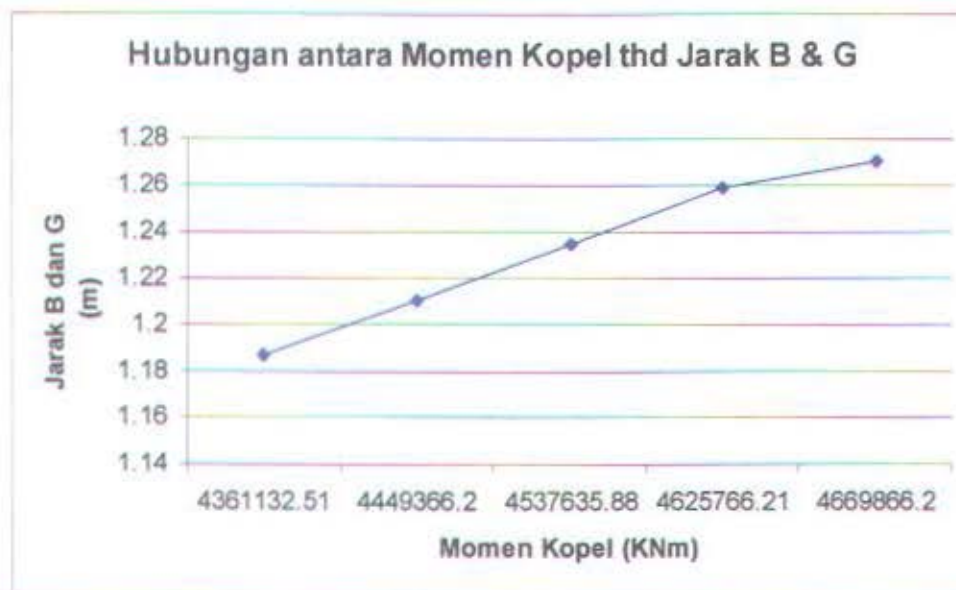
Dalam perancangan suatu kapal, diusahakan besarnya Momen Kopel total terhadap Midship ($\sum \tau_{kop}$) akibat reaksi Bouyancy (B) dan Gravity (G) harus sekecil mungkin untuk mendapatkan stabilitas kapal semaksimal mungkin. Dari data diatas terlihat bahwa besarnya Momen kopel total terhadap Midship ($\sum \tau_{kop}$) yang paling kecil adalah pada peletakan schottel di frame 36 yaitu sebesar

4361132,514 N, sehingga peletakan Schottel yang paling optimal nantinya berada di Frame 36.

- Hubungan antara $\sum \tau_{kop}$ terhadap jarak antara B dan G dapat digambarkan secara grafik sebagai berikut :

Tabel 4.7 Hubungan antara $\sum \tau_{kop}$ terhadap jarak antara B dan G untuk tiap – tiap Frame uji

FRAME	$\sum \tau_{kop}$ (Nm)	Jarak antara B dan G (m)
36	4361132,514	1,186778352
38	4449366,204	1,210779696
40	4537635,878	1,234800000
42	4625766,207	1,258782385
43	4669866,200	1,27078305



Grafik 4.5 Hubungan antara Momen kopel terhadap jarak B dan G

- Hubungan antara $\sum \tau_{kop}$ terhadap Jarak Titik Berat Schottel dari Midship dapat digambarkan secara Grafik sebagai berikut :

Tabel 4.8 Hubungan antara $\sum \tau_{kop}$ terhadap jarak titik berat Schottel dari Midship untuk tiap – tiap Frame uji

FRAME	$\sum \tau_{kop}$ (Nm)	Jarak titik berat Schottel dari Midship (m)
36	4361132,514	3,8
38	4449366,204	4,8
40	4537635,878	5,8
42	4625766,207	6,8
43	4669866,200	7,3



Grafik 4.6 Hubungan antara Jarak Titik Berat Schottel ke Midship terhadap Momen Kopel

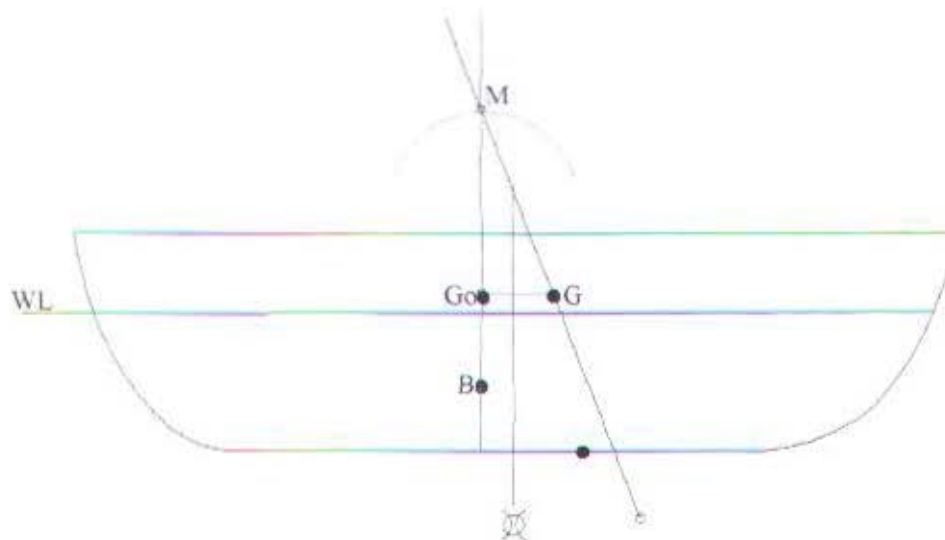
4.1.1.7.3. BERDASARKAN BESARNYA SUDUT TRIM (θ) YANG TERJADI TIAP – TIAP FRAME PELETAKAN SCHOTTEL

Untuk menghitung besarnya sudut Trim yang terjadi pada setiap peletakan Schottel maka yang harus digunakan sebagai acuan adalah posisi G yang terletak

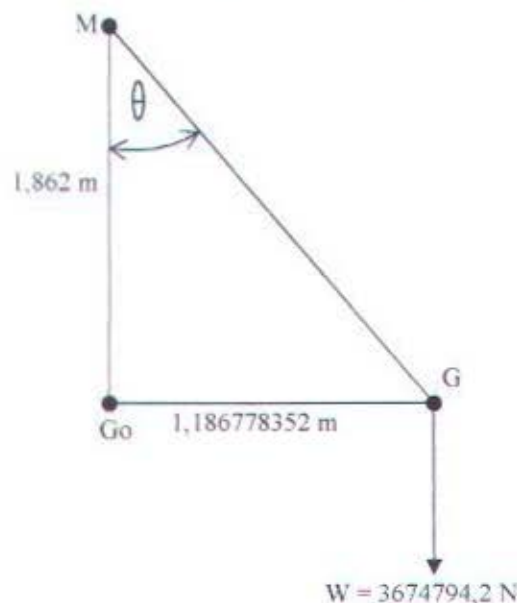
dalam satu garis lurus dengan posisi B agar Tug Boat dalam posisi Even Keel (tidak mengalami Trim). Berikut ini penjelasan dengan gambar tampak samping dari Tug Boat beserta proses perhitungan besarnya sudut Trim yang terjadi.

PANDANGAN SAMPING:

A. UNTUK PELETAKAN SCHOTTEL DI FRAME 36



Gambar 4.46
Besarnya Sudut Trim di Frame 36 pada pandangan samping

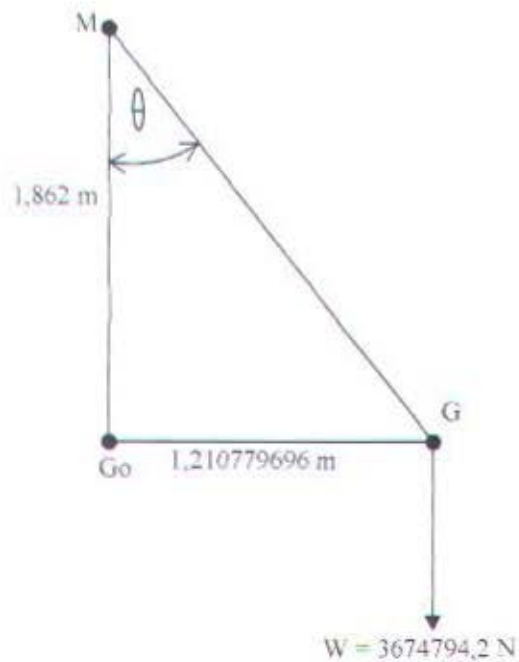


Gambar 4.47
Besarnya Momen Penegak (Statis) di Frame 36

$$\begin{aligned}\tan \theta^\circ &= \frac{Go G}{Go M} \\ &= \frac{1,186778352}{1,862} \\ \theta &= \arctan (0,637367536) \\ \theta &= 32,51^\circ \text{ (Trim ke depan)} \\ \text{Momen penegak (MC)} &= W \times Go G \\ &= 3674794,2 \times 1,186778352 \\ &= 4361166,205 \text{ Nm}\end{aligned}$$

- untuk Peletakan Schottel di Frame 36, Sudut Trim (θ) yang terjadi sebesar $32,51^\circ$ ke arah Haluan.

B. UNTUK PELETAKAN SCHOTTEL DI FRAME 38

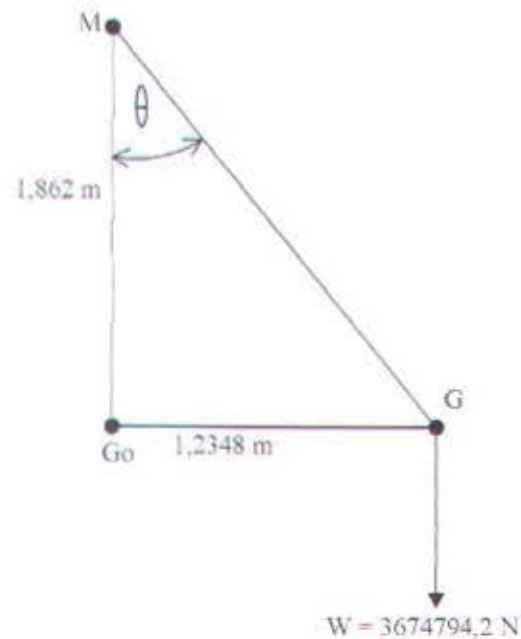


Gambar 4.48
Besarnya Momen Penegak (Statis) di Frame 38

$$\begin{aligned}\tan \theta &= \frac{G G_o}{G_o M} \\ &= \frac{1,210779696}{1,862} \\ \theta &= \arctan (0,650257624) \\ \theta &= 33,03^\circ \text{ (Trim ke depan)} \\ \text{Momen penegak (MC)} &= W \times G_o G \\ &= 3674794,2 \times 1,21079696 \\ &= 4449366,204 \text{ Nm}\end{aligned}$$

- Untuk peletakan Schottel di Frame 38, sudut Trim (θ) yang terjadi sebesar $33,03^\circ$ ke arah Haluan.

C. UNTUK PELETAKAN SCHOTTEL DI FRAME 40

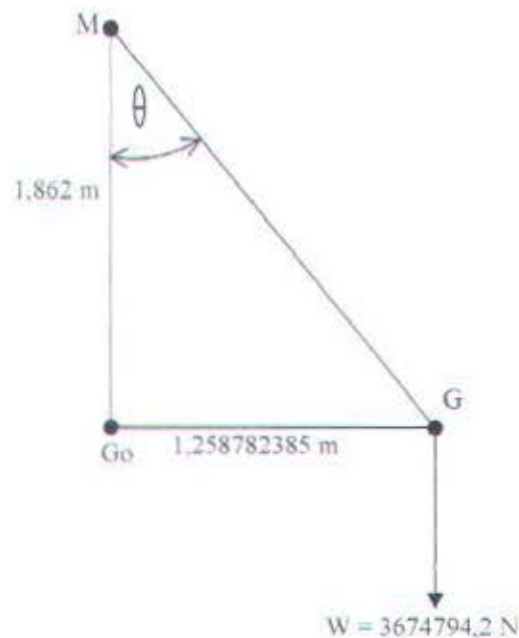


Gambar 4 49
Besar Momen Penegak (Statis) di Frame 40

$$\begin{aligned}\tan \theta &= \frac{G G_o}{G_o M} \\ &= \frac{1,2348}{1,862} \\ \theta &= \arctan (0,663157894) \\ \theta &= 33,55^\circ \text{ (Trim ke depan)} \\ \text{Momen penegak (MC)} &= W \times G_o G \\ &= 3674794,2 \times 1,2348 \\ &= 4537635,878 \text{ Nm}\end{aligned}$$

- Untuk Peletakan Schottel di Frame 40, Sudut Trim (θ) yang terjadi sebesar $35,55^\circ$ ke arah Haluan.

D. UNTUK PELETAKAN SCHOTTEL DI FRAME 42

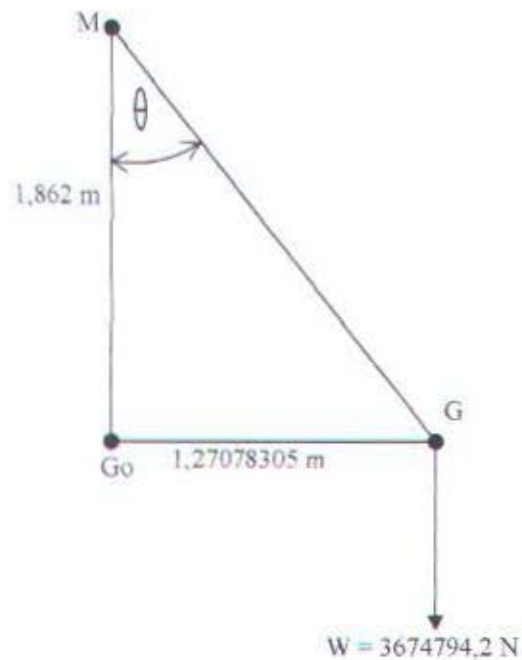


Gambar 4.50
Besar Momen Penegak (Statis) di Frame 42

$$\begin{aligned}\tan \theta &= \frac{G G_o}{G_o M} \\ &= \frac{1,258782385}{1,862} \\ \theta &= \arctan (0,6760378) \\ \theta &= 34,06^\circ \text{ (Trim ke depan)} \\ \text{Momen penegak (MC)} &= W \times G_o G \\ &= 3674794,2 \times 1,258782385 \\ &= 4625766,207 \text{ Nm}\end{aligned}$$

- Untuk Peletakan Schottel di Frame 42, sudut Trim (θ) yang terjadi sebesar $34,06^\circ$ ke arah Haluan.

E. PELETAKAN SCHOTTEL DI FRAME 43



Gambar 4.51
Besar Momen Penegak (Statis) di Frame 43

$$\begin{aligned}\tan \theta &= \frac{G \text{ Go}}{Go \text{ M}} \\ &= \frac{1,27078305}{1,862} \\ \theta &= \arctan (0,682482841) \\ \theta &= 34,31^\circ \text{ (Trim ke depan)} \\ \text{Momen penegak (MC)} &= W \times Go \text{ G} \\ &= 3674794,2 \times 1,127078305 \\ &= 4669866,182 \text{ Nm}\end{aligned}$$

- Untuk Peletakan Schottel di Frame 43, Sudut Trim (θ) yang terjadi sebesar **34,31°** ke arah Haluan.

Tabel 4.9 Hubungan antara Jarak GoG terhadap Sudut Trim

FRAME	Jarak Go G (m)	Sudut Trim (°)
36	1,186778352	32,51
38	1,210779696	33,03
40	1,2348	33,55
42	1,258782385	34,06
43	1,27078305	34,31

- Jika Jarak Go G dihubungkan dengan Sudut Trim (θ) maka akan didapatkan grafik seperti dibawah ini :



Grafik 4.7 Hubungan antara Jarak GoG terhadap Sudut Trim untuk tiap peletakan Schottel

Maka berdasarkan perhitungan diatas maka **posisi Schottel terbaik** adalah yang **memiliki Sudut Trim (θ) yang paling kecil dan Moment penegak terkecil** yaitu berada di Frame 36. Hal ini dikarenakan bahwa semakin kecil Sudut Trim (θ) yang terjadi maka semakin stabil kondisi Tug Boat secara keseluruhan, terutama pada saat melakukan maneuver.

- Hubungan Momen Statis (MC) terhadap Sudut Trim (θ) Tug Boat secara grafik sebagai berikut:



Grafik 4.8 Hubungan antara Momen Statis (Pengembali) terhadap Sudut Trim untuk tiap-tiap Peletakan Schottel

- Hubungan Momen penegak (MC) terhadap GoG Tug Boat secara grafik



Grafik 4.9 Hubungan antara Momen Statis (Pengembali) terhadap Jarak GoG

4.1.2. PERHITUNGAN TAHANAN SERVICE (RT) TUG BOAT

Lihat di lampiran perhitungan Tahanan Tug Boat.

4.1.3. PENGARUH PELETAKAN SCHOTTEL TERHADAP 6 DERAJAT KEBEBASAN GERAK

4.1.3.1. SURGING

SURGING merupakan gerakan osilasi translasi terhadap sumbu-x yang mengakibatkan gerakan maju dan mundur badan kapal. Dalam Tugas Akhir ini di rencanakan ada 5 peletakan Schottel yang akan di bahas pengaruhnya terhadap gerak Surging yaitu di frame 36,38,40,42 dan 43. Berikut ini gambaran dari gerak Surging :



Gambar 4.52
Penguraian Gaya Tug Boat pada saat gerak Surging

Keterangan :

1. a = Frame 36 = 3,8 m dari Mid Ship
- b = Frame 38 = 4,8 m dari Mid Ship
- c = Frame 40 = 5,8 m dari Mid Ship
- d = Frame 42 = 6,8 m dari Mid Ship
- e = Frame 43 = 7,3 m dari Mid Ship
2. WL = Garis air



Ketentuan dalam pengujian :

1. V_s = 13,6 Knots
2. THP = 170,3188 KN
3. RT = 112,209 KN
4. W Schottel = 2x @ 4,5 ton
5. "Light Ship Weight(LWT)" = 374,979 ton
6. DWT = 126,46 ton
7. RT Skeg di abaikan
8. RT Schottel di abaikan

Persamaan-persamaan yang berlaku:

1. Syarat agar Tug Boat **Diam** :

$$THP < RT$$

2. Syarat agar Tug Boat **Tepat bergerak:**

$$THP = RT$$

3. Syarat agar Tug Boat **Bergerak** :

$$THP > RT$$

Syarat syarat pengujian letak :

1. V_s harus sama untuk setiap letak
2. THP harus sama untuk tiap letak
3. RT harus sama untuk tiap letak
4. Tidak membahas masalah konstruksi
5. Kondisi uji Tug Boat adalah "Light Ship Condition"

4.1.3.1.1. PENGARUH TAHANAN TUG BOAT TERHADAP GERAKAN

SURGING :

1. Besarnya Tahanan Tug Boat (RT) sebanding dengan pertambahan gerak maju kapal .Tahanan ini bergantung besarnya Kecepatan kapal (Vs) dan hubungannya mendekati hukum linier : $RT \sim Vs$
2. Tug Boat akan mengalami Damping (Tahanan) yang lebih besar pada saat beberapa gerakan maju yang pertama daripada gerakan maju berikutnya.
3. Gerakan osilasi Tug Boat yang pertama akan menimbulkan sistem gelombang yang cenderung sama dengan gerakan osilasi Tug Boat berikutnya.
4. Perubahan kondisi dan bentuk aliran akibat adanya bagian-bagian Tug Boat yang menonjol akan mempengaruhi besa kecilnya Tahanan (RT) ,misalnya Schottel dan Skeg.

Catatan : Dalam Tugas Akhir ini RT Schottel dan Skeg di asumsikan kecil sekali sehingga di abaikan.

5. Sampai saat ini belum ada rumus-rumus yang di pergunakan untuk menghitung ataupun bahan-bahan yang tersedia untuk dapat membuat evaluasi dari pengaruh kecepatan laju Tug Boat terhadap Tahanan dari gerakan-gerakan Tug Boat. Sebagai petunjuk kasar,dapat dipakai rumus pendekatan sebagai berikut:

$$\frac{N_v - N_o}{N_o} \sim a \times f$$

Keterangan:

- N_v = Koefisien untuk momem damping ketika kapal bergerak maju dengan kecepatan "V"
- N_o = Koefisien untuk momem damping ketika kapal tidak berjalan (diam)



$$f_n = \frac{V}{\sqrt{g \times L_{WL}}}$$

a = Koefisien kemiringan dari garis empiris = 3,3 (untuk penggunaan praktis

4.1.3.1.2. PENGARUH PERBEDAAN PELETAKAN SCHOTTEL

TERHADAP GERAK SURGING :

1. Secara umum pengaruh dari perbedaan letak Schottel pada Tug Boat terhadap gerak Surging relative kecil karena THP untuk masing-masing titik peletakan akan melawan Tahanan bodi Tug Boat yang sama besarnya, disamping itu tidak ada momen yang timbul akibat gerakan Surging Tug Boat terhadap peletakan Schottel. Karena sudut gerak dari THP (Schottel) terhadap body Tug Boat hampir tidak atau relative kecil sehingga bisa diabaikan eksistensinya.
2. Mengingat berat dari Schottel untuk Tug Boat 2 x 1200 HP yaitu 2 x @4,5 ton maka akan mengakibatkan pergeseran titik berat Tug Boat secara keseluruhan walaupun kurang signifikan. Hal ini secara otomatis akan cukup berpengaruh terhadap maneuverability karena Schottel menggerakkan Tug Boat itu berdasarkan titik beratnya, dimana titik berat Tug Boat berada, disanalah pusat gerakan Tug Boat akan terjadi.
3. Dari 2 point di atas dapat disimpulkan bahwa peletakan Schottel yang paling optimal terhadap gerak Surging Tug Boat adalah yang paling dekat titik berat Tug Boat secara keseluruhan (kondisi Light Ship) dan menimbulkan sudut kemiringan (Trim kebelakang) terbesar atau Sudut Trim ke depan terkecil. Berikut ini alasan - alasan yang menjadi dasar pertimbangan dari pemilihan diatas :

- 1). Paling dekat dengan Titik Berat (G), karena pusat dari gerakan kapal di laut adalah di titik beratnya sehingga jika Schottel di letakkan dekat dengan Titik Berat (G) maka akan mempermudah maneuver kapal Tug Boat ke segala arah terutama untuk gerakan – gerakan rotasional yang menghasilkan momen (τ), karena semakin dekat dengan Titik berat Tug Boat maka Momen yang dibutuhkan untuk menggerakkan Kapal akan lebih kecil di bandingkan dengan peletakan Schottel yang menjauhi Titik Berat Tug Boat.
- 2). Peletakan Schottel yang menimbulkan sudut Trim kebelakang terbesar atau Trim kedepan terkecil pada Body Tug Boat terhadap garis air dipilih karena semakin besar sudut Trim kebelakang yang timbul maka akan memperkecil Tahanan yang terjadi khususnya pada saat gerakan maju (Surging). Hal ini terjadi akibat berkurangnya Displacement Tug Boat pada bagian Haluan karena sebagian Body Tug Boat bagian depan terangkat akibat pengaruh Sudut Trim, akan tetapi besarnya sudut Trim yang terjadi harus ada batas-batas toleransi yang masih di ijinakan untuk diterapkan pada Tug Boat karena kalau terlalu ekstrim akan memperburuk performance Schottel dan Main Engine.

4.1.3.1.3. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas maka peletakan Schottel yang di pilih adalah di **FRAME 36** karena menyebabkan Sudut Trim kedepan(θ) yang paling kecil yaitu sebesar **32,51° (Lihat Tabel 4.5 dan Grafiknya)**, sehingga Tahanan yang terjadi khususnya di **bagian Haluan** akan lebih kecil saat melakukan gerakan Surging.

4.1.4. HEAVING

Heaving merupakan gerakan osilasi translasi terhadap sumbu-z yang mengakibatkan gerakan naik turunnya badan kapal. Dalam Tugas Akhir ini di rencanakan ada 5 letak Schottel yang akan di bahas pengaruhnya terhadap gerakan Heaving yaitu di Frame 36,38,40,42 dan 43. Berikut ini gambaran dari gerak Heaving :



Gambar 4.53
Penguraian Gaya Tug Boat pada saat Gerak Heaving

Untuk Tugas akhir ini, pengaruh dari gerak Heaving ini tidak di bahas karena pengaruhnya terhadap peletakan 2 Schottel tidak terlalu signifikan.

Keterangan :

1. a = Frame 36 = 3,8 m dari Mid Ship
- b = Frame 38 = 4,8 m dari Mid Ship
- c = Frame 40 = 5,8 m dari Mid Ship
- d = Frame 42 = 6,8 m dari Mid Ship
- e = Frame 43 = 7,3 m dari Mid Ship
2. WL = Garis air

4.1.5. SWAY

Sway merupakan gerakan osilasi translasi terhadap sumbu-y yang menyebabkan gerakan ke kiri dan ke kanan badan kapal. Dalam Tugas Akhir ini direncanakan ada 5 letak Schottel yang akan dibahas pengaruhnya terhadap gerakan Heaving yaitu di Frame 36, 38, 40, 42 dan 43. Berikut ini gambaran dari gerak Sway :



Gambar 4.54 Sway

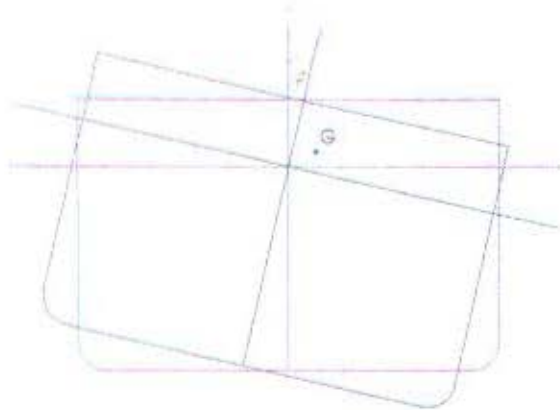
Untuk Tugas akhir ini, pengaruh dari gerak Sway ini tidak dibahas karena pengaruhnya terhadap peletakan 2 Schottel tidak terlalu signifikan.

Keterangan :

1. a = Frame 36 = 3,8 m dari Mid Ship
- b = Frame 38 = 4,8 m dari Mid Ship
- c = Frame 40 = 5,8 m dari Mid Ship
- d = Frame 42 = 6,8 m dari Mid Ship
- e = Frame 43 = 7,3 m dari Mid Ship

4.1.6. ROLLING

Rolling merupakan gerakan osilasi Rotasional terhadap sumbu-x yang menyebabkan kapal Rolling berguling ke kiri dan ke kanan. Dalam Tugas Akhir ini di rencanakan ada 5 letak Schottel yang akan di bahas pengaruhnya terhadap gerakan Rolliing yaitu di Frame 36,38,40,42 dan 43. Berikut ini gambaran dari gerak Rolling :



Gambar 4.55 Rolling

Dalam Tugas akhir ini, pengaruh dari gerak Rolling ini tidak di bahas karena pengaruhnya terhadap peletakan 2 Schottel tidak terlalu signifikan. Hal ini di karenakan variasi peletakan Schottel tidak melebar sepanjang lebar Tug boat akan tetapi posisi jarak Schottel Tetap yaitu **2,4 m** dari **center line**. Jadi tidak ada pengaruh pergeseran **G** ke kiri (Portside) maupun kekanan (Starboard) Tug Boat.

4.1.7. PITCHING

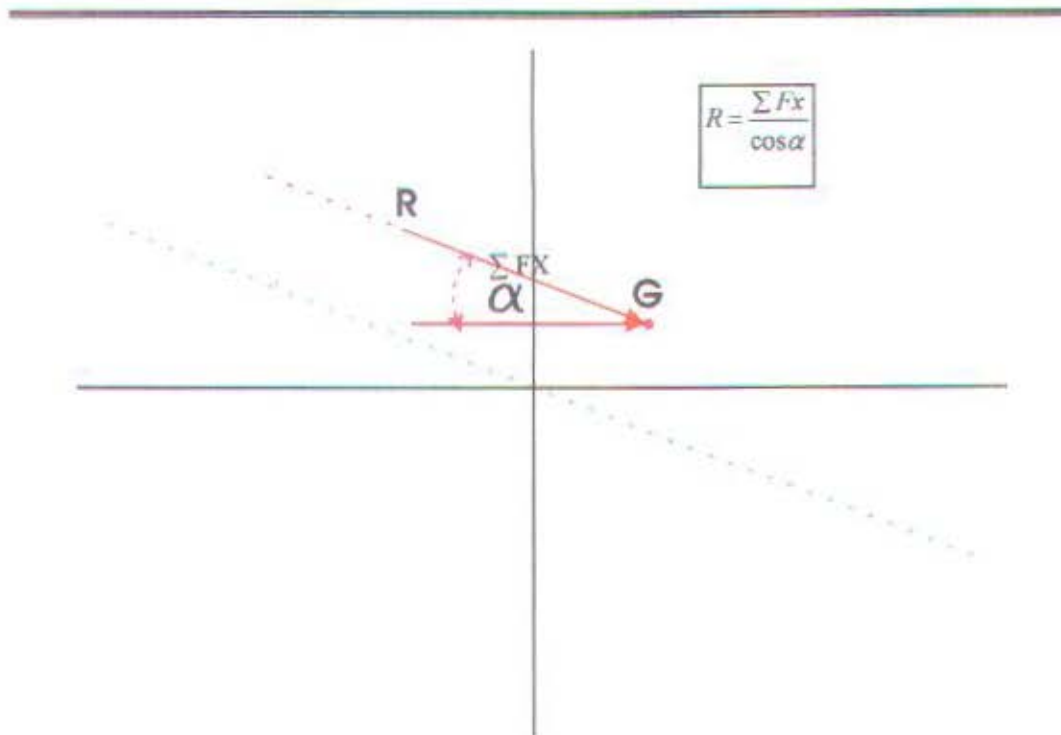
Pitching merupakan gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu-y yang menyebabkan kapal Trim kedepan(Trimming by Bow) atau kebelakang(Trimming by Stern). Dalam Tugas Akhir ini di rencanakan ada 5 letak Schottel yang akan di bahas pengaruhnya terhadap gerakan Pitching yaitu di Frame 36,38,40,42 dan 43. Berikut ini gambaran dari gerak Pitching:



Gambar 4.56
Penguraian Gaya Tug Boat pada saat Gerak Pitching

Keterangan :

- a = Frame 36 = 3,8 m dari Mid Ship
- b = Frame 38 = 4,8 m dari Mid Ship
- c = Frame 40 = 5,8 m dari Mid Ship
- d = Frame 42 = 6,8 m dari Mid Ship
- e = Frame 43 = 7,3 m dari Mid Ship



Gambar 4.57
Resultan Gaya Total Tug Boat pada saat gerak Pitching

1. Frame 36 sudut Pitching = $32,51^\circ$

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{\Sigma Fx}{\cos \alpha} \\
 &= \frac{58,1098}{\cos 32,51} \\
 &= 58,1907 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma Fx &= \text{THP} - \text{RT} \\
 &= 170,3188 - 112,209 \\
 &= 58,1098 \text{ KN}
 \end{aligned}$$



2. Frame 38 sudut Pitching = $33,03^\circ$

$$\begin{aligned} R &= \frac{\sum FX}{\cos \alpha} \\ &= \frac{58,1098}{\cos 33,03} \\ &= 69,3116 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum FX &= \text{THP} - \text{RT} \\ &= 170,3188 - 112,209 \\ &= 58,1098 \text{ KN} \end{aligned}$$

3. Frame 40 Sudut Pitching = $33,55^\circ$

$$\begin{aligned} R &= \frac{\sum FX}{\cos \alpha} \\ &= \frac{58,1098}{\cos 33,55} \\ &= 69,7259 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum FX &= \text{THP} - \text{RT} \\ &= 170,3188 - 112,209 \\ &= 58,1098 \text{ KN} \end{aligned}$$

4. Frame 42 Sudut Pitching = $34,06^\circ$

$$\begin{aligned} R &= \frac{\sum FX}{\cos \alpha} \\ &= \frac{58,1098}{\cos 34,06} \\ &= 70,1427 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\sum FX = \text{THP} - \text{RT}$$

$$= 170,3188 - 112,209$$

$$= 58,1098 \text{ KN}$$

5. Frame 43 sudut Pitching = 34,31

$$R = \frac{\sum FX}{\cos \alpha}$$

$$= \frac{58,1098}{\cos 34,31}$$

$$= 70,3509 \text{ KN}$$

$$\sum FX = \text{THP} - \text{RT}$$

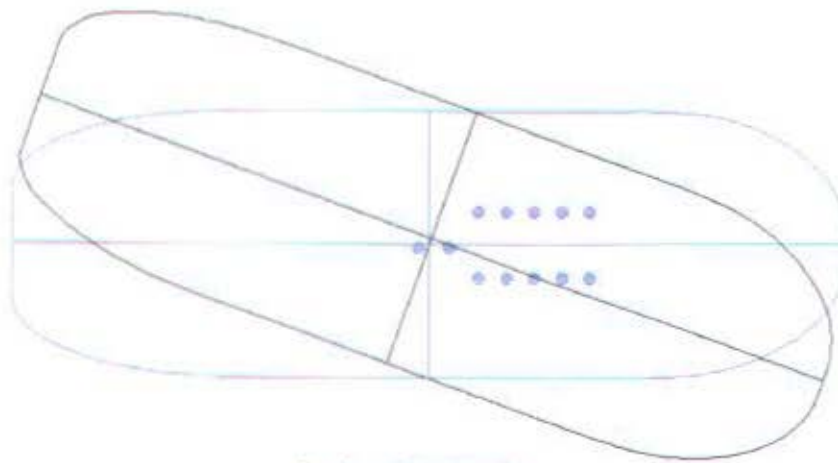
$$= 170,3188 - 112,209$$

$$= 58,1098 \text{ KN}$$

Dari perhitungan di atas dipilih yang menghasilkan **Resultan gaya R** Terkecil yaitu di Frame 36 dengan sudut Trim Terkecil $32,51^0$.

4.1.8. YAWING

Yawing merupakan gerakan Osilasi Rotasional terhadap Sumbu -z yang menyebabkan kapal berputar ke kiri dan ke kanan. Dalam Tugas Akhir ini di rencanakan ada 5 letak Schottel yang akan di bahas pengaruhnya terhadap gerakan Pitching yaitu di Frame 36,38,40,42 dan 43. Berikut ini gambaran dari gerak Yawing:



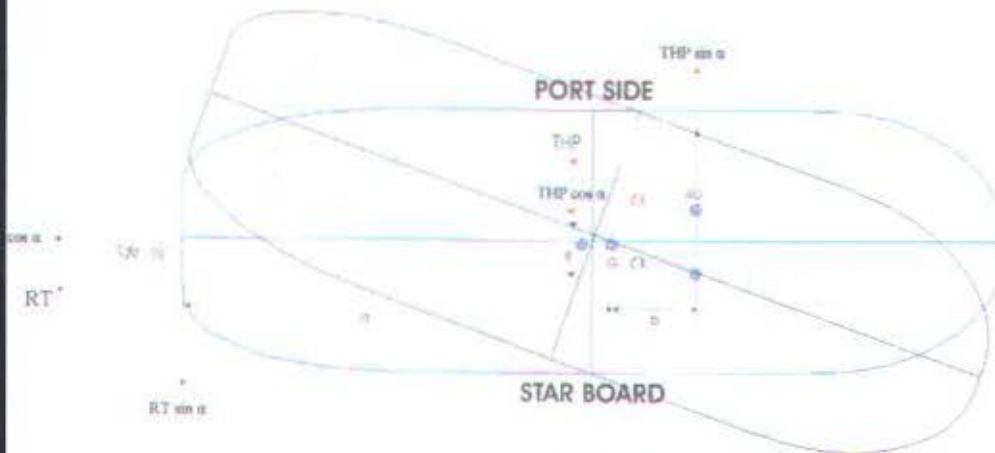
Gambar 4.58 Yawing

Keterangan :

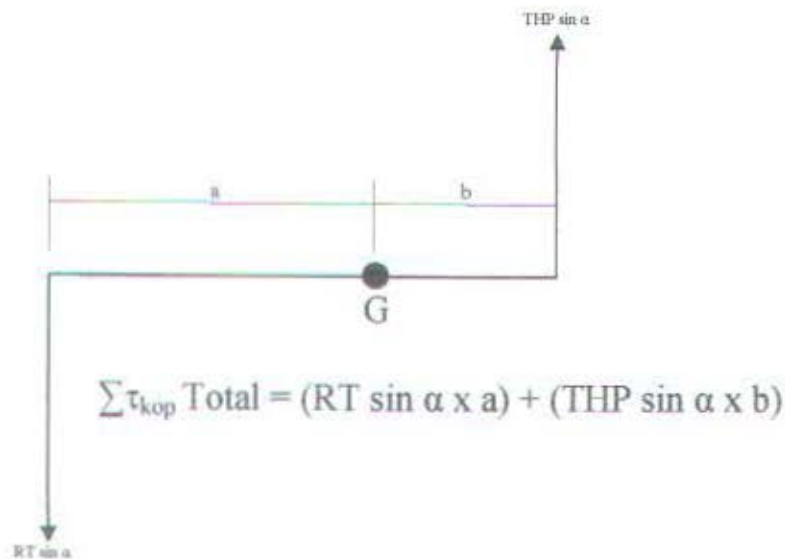
- a = Frame 36 = 3,8 m dari Mid Ship
- b = Frame 38 = 4,8 m dari Mid Ship
- c = Frame 40 = 5,8 m dari Mid Ship
- d = Frame 42 = 6,8 m dari Mid Ship
- e = Frame 43 = 7,3 m dari Mid Ship

Berikut ini adalah pengujian gerak Yawing dengan cara menghitung besarnya Momen yang dibutuhkan untuk menggerakkan body Tug Boat berdasarkan peletakkannya.

1. PERHITUNGAN MOMEN KOPEL TERHADAP TITIK BERAT ($\sum \tau G$) DARI GERAK YAWING UNTUK SETIAP PELETAKKAN SCHOTTEL



Gambar 4.59
Penguraian Gaya Tug Boat pada saat gerak Yawing



Gambar 4.60 Hubungan antara Momen Kopel THP dan RT terhadap G

Dari variasi peletakkan Schottel, dicari yang menghasilkan Momen Kopel Total ($\sum \tau_{kop} \text{ Total}$) yang terkecil untuk mendapatkan optimalisasi gerak Tug Boat.

Tabel 4.10 Hubungan antara Jarak ke Frame Mid Ship, Jarak G dari Mid Ship, Jarak Frame ke G dan Jarak Ujung Buritan ke G

Frame	Jarak Frame ke Midship (m)	Jarak G dari Midship (m)	Jarak Frame ke G (m)	Jarak Ujung Buritan ke G (m)
36	3.8	0.929978352	2.870021648	15.92997835
38	4.8	0.953979696	3.846020304	15.9539797
40	5.8	0.978	4.822	15.978
42	6.8	1.001982385	5.798017615	16.00198239
43	7.3	1.013983057	6.286016943	16.01398306

Tabel 4.11 Hubungan antara Momen THP terhadap Sudut Kemudi

Frame	Momen THP terhadap Sudut Kemudi						
	5	10	15	20	25	30	35
36	42.603352	84.882467	126.51557	167.18582	206.58369	244.40932	280.37486
38	57.091331	113.74816	169.5393	224.04015	276.83591	327.52478	375.72099
40	71.579029	142.6133	212.56219	280.89336	347.08677	410.63863	471.06528
42	86.06729	171.47956	255.58676	337.74879	417.34035	493.7557	566.41327
43	93.311279	185.9124	277.09862	366.17595	452.46646	535.31343	614.08634

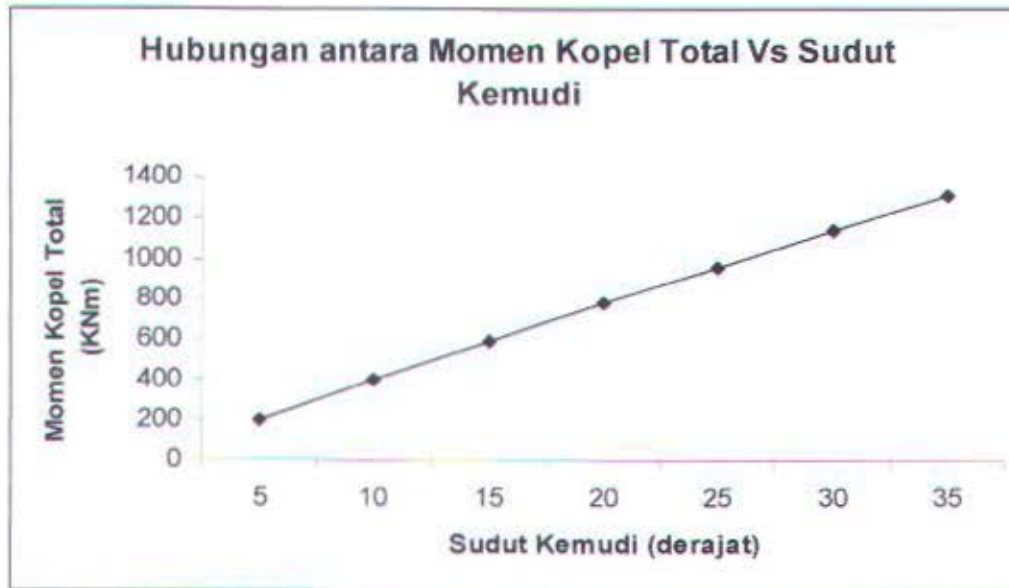
Tabel 4.12 Hubungan antara Momen RT terhadap Sudut Kemudi

Frame	Momen RT terhadap Sudut Kemudi						
	5	10	15	20	25	30	35
36	155.78975	310.39385	462.63566	611.35654	755.42462	893.74347	1025.2604
38	156.02448	310.86151	463.33271	612.27766	756.56281	895.09005	1026.8051
40	156.25939	311.32955	464.0303	613.1995	757.70189	896.4377	1028.3511
42	156.49393	311.79684	464.72679	614.11989	758.83917	897.78322	1029.8946
43	156.61129	312.03067	465.07531	614.58045	759.40826	898.45651	1030.667

Tabel 4.13 Hubungan antara Momen Total terhadap Sudut Kemudi

Frame	Momen Total terhadap Sudut Kemudi						
	5	10	15	20	25	30	35
36	198.3931	395.27632	589.15124	778.54236	962.00831	1138.1528	1305.6352
38	213.11581	424.60968	632.87201	836.3178	1033.3987	1222.6148	1402.5261
40	227.83842	453.94284	676.59249	894.09287	1104.7887	1307.0763	1499.4164
42	242.56122	483.2764	720.31355	951.86868	1176.1795	1391.5389	1596.3079
43	249.92257	497.94308	742.17394	980.7564	1211.8747	1433.7699	1644.7533

Dari hasil perhitungan Momen Kopel di atas didapatkan hubungan antara Momen Kopel Total terhadap sudut kemudi yang divariasikan dapat digambarkan dengan grafik sebagai berikut



Grafik 4.10: Hubungan antara Momen Kopel Total Terhadap Sudut Kemudi

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa Momen Kopel Total terkecil terdapat pada peletakkan Schottel di Frame 36 dengan sudut kemudi sebesar 5 derajat, sehingga *posisi Schottel optimal berada di Frame ke 36*.

METODE OPTIMISASI KOMBINASI SEARCH DAN ANALISA KEPUTUSAN

I. PERHITUNGAN OPTIMISASI TERHADAP STABILITAS :

1. Fungsi objektif (Z_s) = $A + B + C + D$

Tujuan Utamanya adalah Minimumkan (Z_s) untuk mendapatkan Stabilitas Tug Boat yang paling optimal.

2. Batasan :

a. $36 \leq \text{Frame Uji} \leq 43$

Alasan pendukung : Karena posisi Schottel yang paling optimal dan paling mudah penempatannya adalah dalam batasan range frame

tersebut sebab bentuk lambung Tug Boat di daerah tersebut adalah "Paralel Middle Body"

b. $0^0 \leq \text{Sudut Trim depan} \leq 35^0$

Alasan pendukung : Karena antara range Sudut Trim depan akan memungkinkan peletakan Schottel di daerah "Paralel Middle Body" jika hanya dengan menggeser 2 buah Schottel.

3. Variabel Uji :

c. A = Jarak antara B ke G

Bobot Penilaian = 30 %

Alasan = Sangat vital pengaruhnya terhadap Stabilitas Tug Boat

d. B = Sudut Trim depan

Bobot Penilaian = 30 %

Alasan = Vital pengaruhnya terhadap Stabilitas Tug Boat terutama untuk gerak Surging

e. C = Momen Statis (MC)

Bobot Penilaian = 20 %

Alasan = Penting pengaruhnya dalam hal kemampuan mengembalikan posisi Tug Boat ke kondisi Stabil

f. D = Jarak Titik Berat Schottel ke G

Bobot Penilaian = 20 %

Alasan = Penting pengaruhnya terhadap Stabilitas Tug Boat terutama pada saat melakukan

Maneuver

Dari keterangan-keterangan di atas maka fungsi objektifnya (Z_s) akan berubah sebagai berikut :

$$Z_s = 30\%A + 30\% B + 20\%C + 20\%D$$

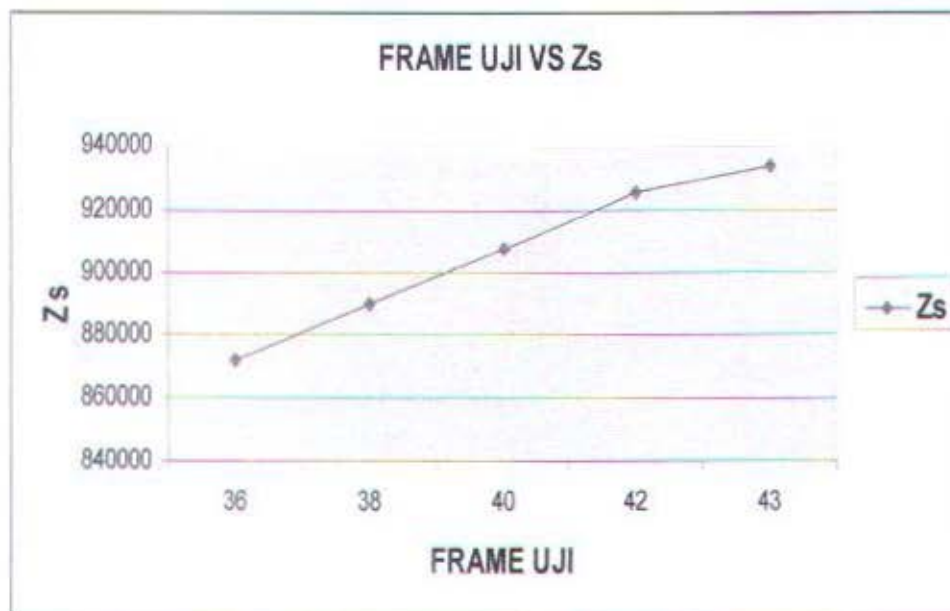
$$Z_s = 0.3 A + 0.3 B + 0.2 C + 0.2 D \quad (6)$$

(6) : Setiyo Prapada, *Dasar Metode Optimasi* 1998-1999 dan Dr. Ir. Kuntoro Mangkunubroto, MSc, *Analisa Kepulisan* hal 80

Sehingga dari persamaan Fungsi Objektif diatas di dapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:

Lihat pada Lampiran Tabel Perhitungan Z_s

Dari perhitungan diatas dapat di gambarkan secara grafik hubungan antara Frame-frame Uji peletakan Schottel terhadap Fungsi Objektif (Z_s) sebagai berikut:



Grafik 4.11 Hubungan antara Frame Uji terhadap Z_s

Berdasarkan Tujuan Utama dari Fungsi Objektif Stability (Z_s) maka nilai Z_s terkecil berada di Frame 36 sehingga *Peletakan Schottel yang paling optimal adalah di Frame 36.*

II. PERHITUNGAN OPTIMISASI TERHADAP MANEUVERABILITY :

1. Fungsi objektif (Z_m) = $P + Q + R + S + T$

Tujuan Utamanya adalah Minimumkan (Z_m) untuk mendapatkan Maneuverability Tug Boat yang paling optimal.

2. Batasan :

a. $36 \leq \text{Frame Uji} \leq 43$

Alasan pendukung = Karena posisi Schottel yang paling optimal dan paling mudah penempatannya adalah dalam batasan range Frame tersebut sebab bentuk lambung Tug Boat di daerah tersebut adalah "Paralel Middle Body" selain itu posisi Schottel di Frame-Frame tersebut tidak mengganggu letak equipment-equipment yang lain.

b. $0^\circ \leq \text{Sudut Trim depan} \leq 35^\circ$

Alasan pendukung : Karena antara range Sudut Trim depan akan memungkinkan peletakan Schottel di daerah "Paralel Middle Body" jika hanya dengan menggeser 2 buah Schottel.

c. $5^\circ \leq \text{Sudut Kemudi} \leq 35^\circ$

Alasan pendukung : Karena pergerakan Tug Boat terutama pada saat gerak Yawing akan lebih stabil pada Sudut Kemudi 5° sedangkan batasan maksimal Sudut Kemudi 35° adalah sudah merupakan ketentuan dari kelas

3. Variabel Uji :

a. P = Radius Of Gyration Yawing (K_{zz})

Bobot Penilaian = 25 %

Alasan = Merupakan komponen utama yang sangat

vital pengaruhnya terhadap gerak

Yawing, terutama saat melakukan "Turning
Circle Test"

b. Q = Radius Of Gyration Yawing (K_{zz})

Bobot Penilaian = 25 %

Alasan = Merupakan komponen utama yang cukup
vital pengaruhnya terhadap gerak
Pitching yang timbul pada Tug Boat

c. R = Momen Of Inertia Yawing (I_{zz})

Bobot Penilaian = 15 %

Alasan = Prosentase bobot penilaiannya di buat lebih
daripada gerak Pitching mengingat fungsi
Utamanya untuk menunda /mendorong
kapal.

d. S = Momen Of Inertia Pitching (I_{yy})

Bobot Penilaian = 10 %

Alasan = Prosentase penilaiannya kurang dari gerak
Yawing karena efeknya pada saat
operasional kurang signifikan

e. T = Momen Kopel Yawing pada Sudut kemudi
 5°

Bobot Penilaian = 25 %

Alasan = Vital sekali pengaruhnya terutama pada saat
Tug Boat melakukan gerak melingkar
maupun Zig-zag

Dari keterangan-keterangan di atas maka fungsi objektifnya
(Zm) akan berubah sebagai berikut :

$$Zm = 25\% P + 25\% Q + 15\% R + 10\% S + 25\% T$$

$$Zm = 0.25 P + 0.25 Q + 0.15 R + 0.1 S + 0.25 T$$

$$Zm = 0.25 (P + Q + T) + 0.15 R + 0.1 S^{(6)}$$

(6) : Setdjo Prajudo, Diklat Metode Optimasi 1998/1999 dan Dr. Ir. Kuntoro Mangkusubroto, MSc, Analisa Keputusan
hal 80

Sehingga dari persamaan fungsi objektif diatas di dapatkan hasil
perhitungan sebagai berikut:

Lihat pada Lampiran Tabel Perhitungan Zm

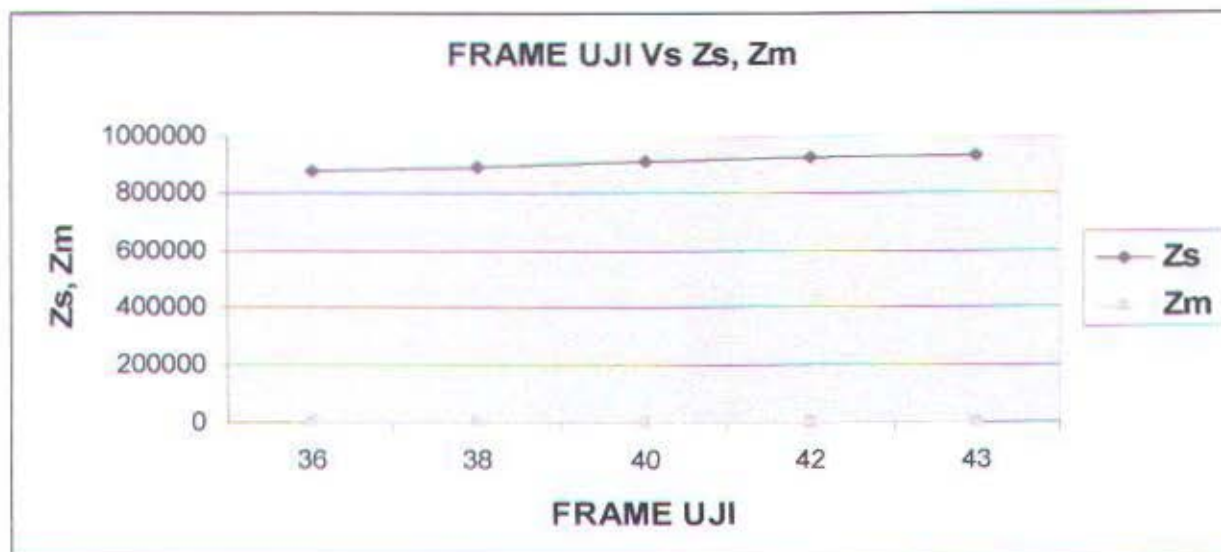
Dari perhitungan diatas dapat di gambarkan secara grafik
hubungan antara Frame-frame Uji peletakan Schottel terhadap
Fungsi Objektif (Zm) sebagai berikut:



Grafik 4.12 Hubungan antara Frame Uji terhadap Zm

Berdasarkan Tujuan Utama dari Fungsi Objektif Maneuverability (Z_m) maka nilai Z_m terkecil berada di Frame 36 sehingga *Peletakan Schottel yang paling optimal adalah di Frame 36.*

Berikut ini hubungan antara Frame-frame Uji terhadap Z_s dan Z_m yang di gambarkan dalam satu grafik:



Grafik 4.13 Hubungan antara Frame Uji terhadap Z_s dan Z_m

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Tabel 5.1 Hubungan antara Jarak antara B dan G , Jarak LCG , Momen Kopel Yawing dengan Sudut Kemudi 5° , Momen Statis dan Sudut Trim

Frame	Jarak antara B & G	Jarak LCG	Momen Kopel Yawing dengan sudut 5°	Momen Statis	Sudut Trim
36	1,186778352	0,929978352	198,39311039	4361166,205	32,51
38	1,210779696	0,953979696	213,1158081	4449366,204	33,03
40	1,234800000	0,978	227,8384164	4537635,878	33,55
42	1,258782385	1,001982385	242,5612166	4625766,207	34,06
43	1,27078305	1,013983057	249,9225687	4669866,182	34,31

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan data yang sudah dilakukan di Bab IV didapatkan rincian data sebagai berikut:

1. Peralatan Schottel yang paling optimal untuk Tug Boat 2 x 1200 HP Jayakarta

I adalah yang memenuhi kriteria-kriteria sebagai berikut:

- a. Jarak antara (B) dan (G) yang paling dekat (ditinjau dari pandangan samping) dari Peletakan-peletakan Schottel yang diuji. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi Tug Boat yang paling stabil karena idealnya posisi (B) dan (G) sebenarnya terletak dalam satu garis lurus (ditinjau dari pandangan samping). karena kondisi ini tidak mungkin terjadi jika hanya dengan menggeser letak dua buah Schottel saja maka langkah yang paling baik adalah mencari posisi (B) dan (G) yang sedekat mungkin.



- b. Momen kopel antara (B) dan (G) yang paling kecil untuk mendapatkan kondisi Tug Boat yang paling stabil.
- c. Sudut Trimming Tug Boat baik Trim ke depan (Trimming By Bow) maupun Trim ke belakang (Trimming By Stern) yang paling kecil, hal ini dikarenakan semakin kecil Sudut Trim yang terjadi semakin menunjang Stabilitas Tug Boat khususnya pada saat melakukan Maneuver (seperti: Yawing, Pitching, dan lain-lain).
- d. Besarnya Momen Statis/Momen Penegak (MC) yang bekerja untuk tiap-tiap Frame Peletakkan Schottel harus sekecil mungkin, hal ini bertujuan agar kondisi Tug Boat memiliki Sudut Trim seminimal mungkin.
- e. Besarnya Momen Kopel antara Thrust (THP) dan Tahanan Tug Boat (RT).
- f. Besarnya Sudut Kemudi dalam range 5 sampai 35 derajat dicari yang memiliki Momen Kopel antara Thrust (THP) dan Tahanan (RT) seminimal mungkin.

Dari kriteria-kriteria di atas dapat dipilih Peletakkan Schottel yang paling optimal, yaitu di Frame 36 dengan Sudut Kemudi 5 derajat.

LAMPIRAN

- LAMPIRAN 1 *HASIL PERHITUNGAN AKHIR METODE OPTIMASI PELETAKAN
SCHOTTEL TERHADAP MANEUVERABILITY DAN STABILITY
TUG BOAT 2 X 1200 HP JAYAKARTA I*
- LAMPIRAN 2 *PERHITUNGAN RADIUS OF GYRATION UNTUK YAWING (K_{zz})
DAN PITCHING (K_{yy})*
- LAMPIRAN 3 *A. PERHITUNGAN MOMENT OF INERTIA UNTUK YAWING DAN
PITCHING
B. PERHITUNGAN FUNGSI OBJEKTIF STABILITAS (Z_s)*
- LAMPIRAN 4 *A. PERHITUNGAN FUNGSI OBJEKTIF MANEUVERABILITY (Z_s)
HASIL PERHITUNGAN AKHIR METODE OPTIMISASI
B. PELETAKAN SCHOTTEL TERHADAP MANEUVERABILITY DAN
STABILITY TUG BOAT 2x1200 HP JAYAKARTA I*
- LAMPIRAN 5 *GRAFIK FRAME UJI Z_{st} , Z_s DAN V_s*
- LAMPIRAN 6 *GRAFIK FRAME UJI Z_{st} , Z_s DAN V_s*
- LAMPIRAN 7 *PERHITUNGAN TAHANAN KAPAL TUG BOAT 2x1200 HP
JAYAKARTA I*

DAFTAR PUSTAKA

1. Captain D.R.Derret , Revised by Dr.C.Barras ,Ship Stability For Master And Mates (1999)
2. Dr.Ir.Kuntoro Mangkusubroto, MSc, Analisa keputusan (Pendekatan Sistem dalam ManajemenUsaha Dan Proyek)(1987)
3. Ir.M.Murtedjo ,ME,Teori Gerak Kapal I (1987)
4. Ir.Surjo Widodo Adji,MSc,Modul Kuliah Tahanan Kapal
5. Manual Book Of Schottel GmbH & Co.KG Typr SRP 550 FP/Schottel For The Shipping World.
6. Rameswar Bhattacharyya,Dynamics Of Marine Vehicle (1978)
7. Setijo Prajudo,Diktat Metode Optimisasi (1998/(1999)
8. Sv.Aa.Harvald,Tahanan & Propulsi Kapal (1983)
9. Martin Abkowits, Stability And Motion Control Of Ocean Vehicle (1964)

LAMPIRAN 1

HASIL PERHITUNGAN AKHIR METODE OPTIMASI PELETAKAN SCHOTTEL TERHADAP MANEUVERABILITY DAN STABILITY TUG BOAT 2 X 1200 HP JAYAKARTA I

FRAME	JARAK ANTARA B KE G B (m)	SUDUT TRIM (°)	MOMEN STATIS (Nm)	JARAK SCHOTTEL KE G (m)
	A	B	C	D
36	1,186778352	32,51	4361166,205	2,87
38	1,210779696	33,03	4449366,204	3,846
40	1,2348	33,55	4537635,878	4,822
42	1,258782385	34,05	4625766,200	5,798
43	1,27078305	34,31	4669866,182	6,286

EMPIRAN 2

PERHITUNGAN RADIUS OF GYRATION UNTUK YAWING (K_{ZZ})

NAME	WS 1	WS 2	X_i	Y_{i1}	Y_{i2}	X_i^2	Y_{i1}^2	Y_{i2}^2	$(X_i^2 + Y_{i1}^2)$	$(X_i^2 + Y_{i2}^2)$	$WS_1 (X_i^2 + Y_{i1}^2)$	$WS_2 (X_i^2 + Y_{i2}^2)$	K_{ZZ1}	K_{ZZ2}	$K_{ZZ TOTAL}$
	ton	ton	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
36	4,5	4,5	2,87	2,4	2,396	8,2369	5,76	5,740816	13,9969	13,977716	62,98605	32,899722	0,4148529	0,414568	0,829421355
38	4,5	4,5	3,846	2,4	2,396	14,791716	5,76	5,740816	20,551716	20,532532	92,482722	32,396394	0,5026923	0,512458	1,005149893
40	4,5	4,5	4,822	2,4	2,396	23,251684	5,76	5,740816	29,011684	28,9925	130,552578	130,46625	0,5972617	0,537064	1,194325834
42	4,5	4,5	5,798	2,4	2,396	33,616804	5,76	5,740816	39,376804	39,35762	177,195618	177,10929	0,6958224	0,635653	1,391475281
43	4,5	4,5	6,286	2,4	2,396	39,513796	5,76	5,740816	45,273796	45,254612	203,732082	203,645754	0,7461079	0,74595	1,492057674

PERHITUNGAN RADIUS OF GYRATION UNTUK PITCHING (K_{YY})

NAME	WS 1	WS 2	X_i	Z_{i1}	Z_{i2}	X_i^2	Z_{i1}^2	Z_{i2}^2	$(X_i^2 + Z_{i1}^2)$	$(X_i^2 + Z_{i2}^2)$	$WS_1 (X_i^2 + Z_{i1}^2)$	$WS_2 (X_i^2 + Z_{i2}^2)$	K_{YY1}	K_{YY2}	$K_{YY TOTAL}$
	ton	ton	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m	m	m
	4,5	4,5	2,87	5,175	5,175	8,2369	26,78063	26,780625	35,017525	35,017525	157,5788625	157,5788625	0,6561761	0,356177	1,312353679
	4,5	4,5	3,846	5,175	5,175	14,791716	26,78063	26,780625	41,572341	41,572341	187,0755345	187,0755345	0,7149573	0,714958	1,429915619
	4,5	4,5	4,822	5,175	5,175	23,251684	26,78063	26,780625	50,032309	50,032309	225,1453905	225,1453905	0,7843383	0,784338	1,568676688
	4,5	4,5	5,798	5,175	5,175	33,616804	26,78063	26,780625	60,397429	60,397429	271,7884305	271,7884305	0,8617621	0,361762	1,723524239
	4,5	4,5	6,286	5,175	5,175	39,513796	26,78063	26,780625	66,294421	66,294421	298,3248945	298,3248945	0,9028522	0,302852	1,605704417

LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN MOMENT OF INERTIA UNTUK YAWING DAN PITCHING

FRAME	Δ_0	K_{ZZ} TOTAL	K_{YY} TOTAL	g	I_{ZZ}	I_{YY}
	ton	m	m	m/s	ton-sec ² /m	ton-sec ² /m
36	365,979	0,829421355	1,312353679	9,8	25,69097086	64,31790306
38	365,979	1,005149893	1,429915619	9,8	37,73042978	76,35736102
40	365,979	1,194325834	1,568676688	9,8	53,26914711	91,89607776
42	365,979	1,391475281	1,723524239	9,8	72,30712301	110,9340533
43	365,979	1,492057674	1,805704417	9,8	83,13833294	121,7652631

PERHITUNGAN FUNGSI OBJEKTIF STABILITAS (Z_s)

FRAME	A	B	C	D	0,3 A	0,3 B	0,2 C	0,2 D	Z_s
	m	m	Nm	m	m	m	Nm	m	
36	1,186778352	32,51	4361166,205	2,87	0,356033506	9,753	872233,2	0,574	872243,924
38	1,210779696	33,03	4449366,204	3,846	0,363233909	9,909	889873,2	0,7692	889884,2822
40	1,234800000	33,55	4537635,878	4,822	0,37044	10,065	907527,2	0,9644	907538,5754
42	1,258782385	34,05	4625766,200	5,798	0,377634716	10,215	925153,2	1,1596	925164,9922
43	1,270783050	34,31	4669866,182	6,286	0,381234915	10,293	933973,2	1,2572	933985,1678

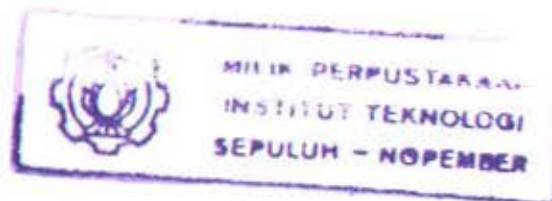
AMPIRAN 4

PERHITUNGAN FUNGSI OBJEKTIF MANEUVERABILITY (Z_s)

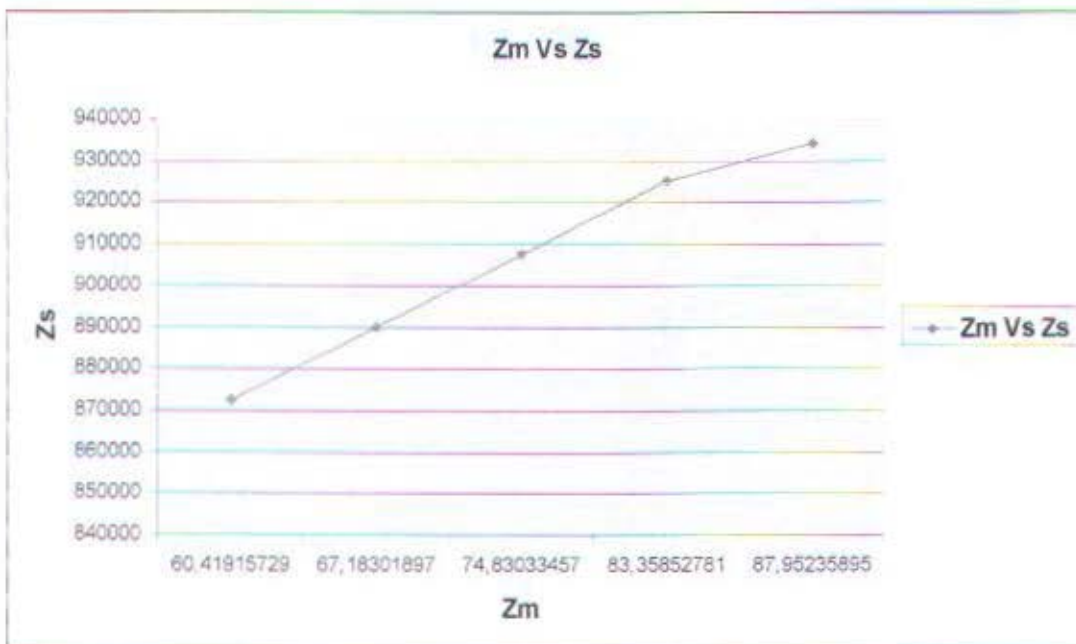
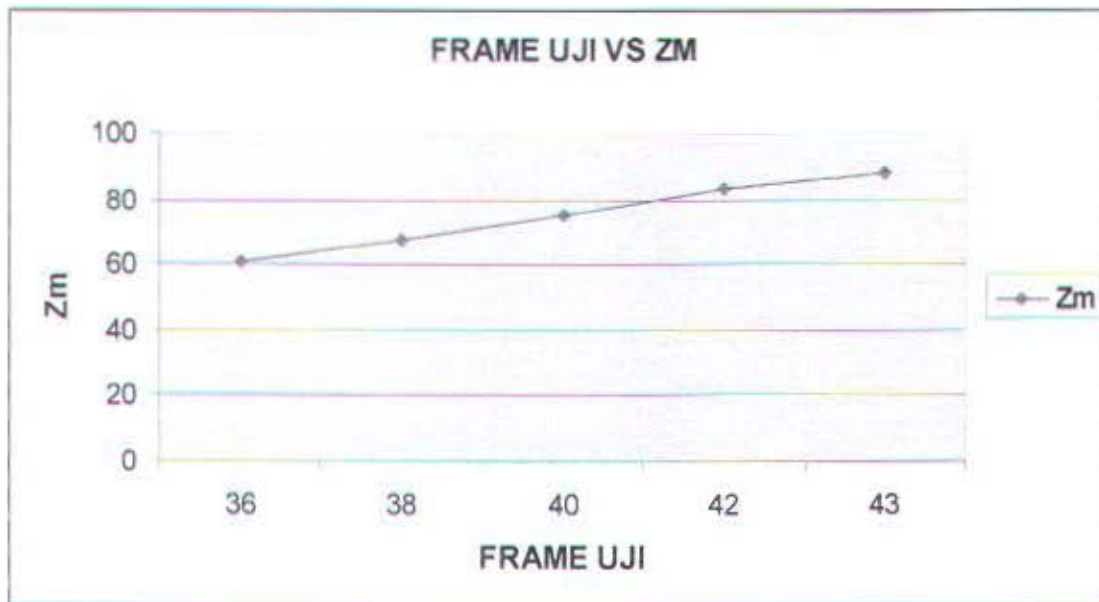
FRAME	RADIUS OF GYRATION		MOMEN OF INERTIA		MOMEN KOPEL YAWING	0,25(P+Q+T)	0,15 R	0,1 S	Z_M
	YAWING (K_{zz})	PITCHING (K_{yy})	YAWING (I_{zz})	PITCHING (I_{yy})	DENGAN SUDUT KEMUDI 5°				
	P	Q	R	S	T				
36	0,829421355	1,312353679	25,69097086	64,31790306	198,3931104	50,13372136	3,853646	6,4317903	60,41915729
38	1,005149893	1,429915619	37,73042978	76,35736102	213,1158081	53,8877184	5,659564	7,6357361	67,18301897
40	1,194325834	1,568676688	53,26914711	91,89607776	227,8384164	57,65035473	7,990372	9,1896078	74,83033457
42	1,391475281	1,723524239	72,30712301	110,9340533	242,5612166	61,41905403	10,84607	11,093405	83,35852781
43	1,492057674	1,805704417	83,13833294	121,7652631	249,9225687	63,3050827	12,47075	12,176526	87,95235895

ASIL PERHITUNGAN AKHIR METODE OPTIMISASI PELETAKAN SCHOTTEL.
 ERHADAP MANEUVERABILITY DAN STABILITY TUG BOAT 2x1200 HP
 AYAKARTA I

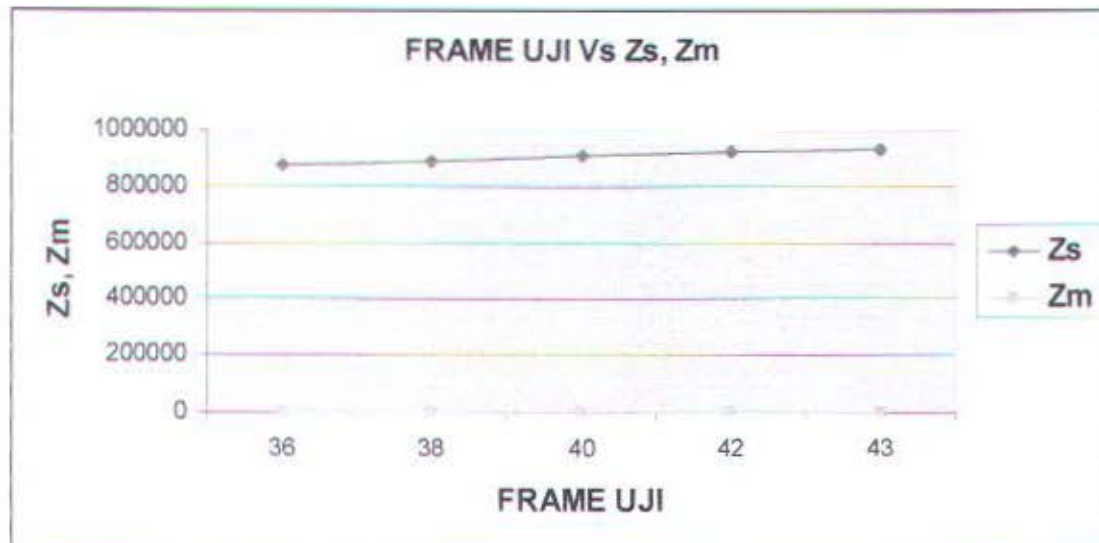
FRAME	Z_s	Z_M
36	872243,924	60,41915729
38	889884,2822	67,18301897
40	907538,5754	74,83033457
42	925164,9922	83,35852781
43	933985,1678	87,95235895



LAMPIRAN 5



LAMPIRAN 6



MPRAS 7

1	2x4	0.5462857	h	2.9427
2	0.5	1	h	1.1310
3	0.5	0.3016342	D	3.5156607
4	0.5	0		
5	0.5	0		
6	0.5	1.4		
7	0.5	0		
8	0.5	0.921096		
9	0.5	126.53824		
10	0.5	0.1510718		
11	0.5	1		
12	0.5	0.5209678		
13	0.5	1.2469716		
14	0.5	-0.0694812		
15	0.5	-1.08005		
16	0.5	-0.4324421		
17	0.5	0.9		
18	0.5	0.04		
19	0.5	0.0007092		
20	0.5			
21	0.5	1.582615		
22	0.5	17442.415	17,44242 kN	
23	0.5	0	0 kN	
24	0.5	65254.211	63,22421 kN	
25	0.5	0		
26	0.5	0		
27	0.5	6744.1888	6,744167 kN	
28	0.5		97,57301 kN	
29	0.5		112,209 kN	
30	0.5			
31	0.5	784.9959	1052,697 HP	
32	0.5	0.3		
33	0.5	0.28		
34	0.5	4.897068		
35	0.5	1.05		
36	0.5	0.6		
37	0.5	1.0007142		
38	0.5	0.98		
39	0.5	0.8		
40	0.5	0.882		
41	0.5	1147.6548	1539,03 HP	
42	0.5	723.02254	969,5892 HP	1191,5232
43	0.5	1171.0784	1570,439 HP	1215,64
44	0.5	1483.0454	1963,049 HP	1519
45	0.5	1722.1711	2309,47 HP	1789
46	0.5			
47	0.5	0.497072		
48	0.5	0.5368		
49	0.5	0.7775		
50	0.5	2.1		
51	0.5			
52	0.5	146.4414		



PT PIONEER

Project Name : Tug Boat 2400 HP
Project Code : M000193
Contract No. : PC 3 BM L C 0059
Owner : PEMDA Cilegon
Engine Model : 6N21A-SV
Engine No. : FTS 0823 & FTS 0824

Documents

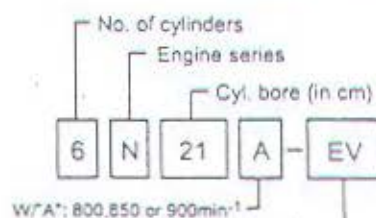
NO.	DESCRIPTION	REMARK
1	Operation Manual for Main Engine	6N21A-V series
2	Operation Manual for Mitsubishi Turbocharger	TD 13
3	Service Manual for NZ Hydraulic Governor	NZ61 / NZ115
4	Final Drawing for Main Engine	R3-Q027A

1. ENGINE DESCRIPTION

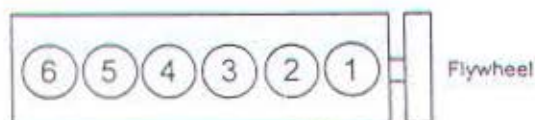
-1. Engine Specification

Model		Unit	6N21A-DV	6N21A-UV	6N21A-SV	6N21A-EV
Type		—	Vertical, water-cooled, 4-cycle diesel engine			
Combustion chamber		---	Direct injection type			
No. of cylinders		---	6			
Cylinder bore		mm	210			
Stroke		mm	290			
Total cylinder displacement		---	60.27			
Compression ratio		---	15.5			
Rated speed of revolution		mm ⁻¹ (rpm)	800		850 or 900	
Direction of rotation of crankshaft		---	Counterclockwise as viewed from the flywheel end (XL)			
Operating side		---	On the left as viewed from the flywheel end			
Order of firing		---	1-4-2-6-3-5-1			
Supercharging system		---	Exhaust gas turbine supercharger (turbocharger) with air cooler			
Cooling system		---	Dual fresh water line cooling.			
Lubricating system		---	Forced lubrication (system oil also used as turbocharger lub.oil) (system oil also used as rocker arm lub.oil)			
Lubricating oil sump system		---	Wet Sump (Separately required auxiliary tank installed inboard)			
Starting system		---	Air motor starting			
Dimensions	Overall length	mm	2,775			
	Overall width	mm	1,565			
	Overall height	mm	2,270			
Mass (of engine singly)		kg	8,000 (may vary as depending on specification)			
Reduction reversing gear	Model	---	Y(C)-850	YX-1000(C)		
	Mass	kg	1,800 (1,850)	2,200 (2,400)		

Constitution of Model Designation



[Configuration of Cylinders]



1-2. Types of Accessories & Attachments

Accessory/Attachment		Type	Remarks
Supercharger		Air-cooled exhaust gas turbine	
Boost air cooler		Plate finned multitubular	
Governor		Hydraulic	
Fuel injection pump		Bosch	
Fuel valve		Bosch (Long-stem, multiple jet nozzle)	Non-cooled, with nozzle sleeve
Fuel feed pump		Gear	For marine diesel oil
Fuel oil filter		Manual back-washing, duplex, changeover notch wire	For engine inlet
Lub.oil pump		Gear	Pressure regulating valve integrated
Lub.oil cooler		Low finned tube multitubular	w/automatic temperature control valve
Lub.oil strainer	I	Duplex, changeover notch wire	Manual back-washing
	II	Centrifugal	For bypass strainer
Lub.oil tank		Wet sump or dry sump*	
Cooling water pump		Centrifugal	Cylinder jacket side (Optional use of cooler side)
Fresh water cooler*		Plate or multitubular	Equipped to the hull
Air motor		Turbine	Compressed air

* Note: An asterisk (*) refers to an optional attachment.

Dimensions

The resistance prediction algorithms are useful only within certain limits of hull dimension. These limits are:

Algorithm:	Requirement:			
Savitsky	3.07	<	$L/V^{1/3}$	< 12/4
	3.7	<	ie	< 28.6
	2.52	<	L/B	< 18.26
	1.7	<	B/T	< 9.8
	0	<	At/Ax	< 1
	-0.016	<	LCG/L	< 0.0656
Lahtiharju (Round Bilge)	4.47	<	$L/V^{1/3}$	< 8.30
	0.68	<	B^3/V	< 7.76
	3.33	<	L/B	< 8.21
	1.72	<	B/T	< 10.21
	0.16	<	At/Ax	< 0.82
	0.57	<	C_m	< 0.89
Lahtiharju (Hard Chine)	4.49	<	$L/V^{1/3}$	< 6.81
	2.73	<	L/B	< 5.43
	3.75	<	B/T	< 7.54
	0.43	<	At/Ax	< 0.995
Holtrop	0	<	$F_n L$	< 0.45
	0.55	<	C_p	< 0.85
	3.9	<	L/B	< 15
	2.1	<	B/T	< 4.0
Van Oortmerssen	8	<	L	< 80
	3	<	L/B	< 6.2
	0.5	<	C_p	< 0.73
	-7	<	$100 LCG / L$	< 2.8
	5	<	V	< 3000
	1.9	<	B/T	< 4.0
	0.70	<	C_m	< 0.97
	10	<	ie	< 46
Series 60	0.15	<	$F_n L$	< 0.27
	0.6	<	C_b	< 0.8
	5.5	<	L/B	< 8.5
	2.5	<	B/T	< 3.5
	-2.48%	<	LCB	< 3.51%
Delft	2.76	<	L/B	< 5.00
	2.46	<	B/T	< 13.92
	4.34	<	$L/V^{1/3}$	< 8.50
	-6.0%	<	LCB	< 0.0%
	0.52	<	C_p	< 0.60

Algorithm: Requirement:

Speed

The resistance prediction algorithms are useful only within certain speed limits. These limits are:

Algorithm:	Low - speed limit	High - speed limit
Savitsky (pre-planing)	$F_{nv} = 1.0$	$F_{nv} = 2.0$
Savitsky (planing)	$F_{nb} = 1.0$	None
Lahtiharju	$F_{nv} = 1.5$	None
Holtrop	None	$F_{nL} = 0.45$
Van Oortmerssen	None	$F_{nL} = 0.50$
Series 60	$F_{nv} = 0.282$	$F_{nv} = 0.677$
Delft	None	$F_{nL} = 0.75$

For some algorithms, Hullspeed will calculate the resistance only for speeds within the limits indicated above. For the other algorithms, Hullspeed will calculate the resistance for any speed. The user should be aware that the accuracy of the algorithms is expected to decrease beyond the limits outlined above.

F_{nb} - Beam Froude number

F_{nv} - Volume Froude number

F_{nL} - Length Froude number

Where:

L	Length on the waterline
B	Beam on the Waterline
T	Draft of hull
At	Transom sectional area
Ax	Maximum sectional area
V	Displaced volume
Cm	Midship sectional area coefficient
Cx	Maximum sectional area coefficient
Cp	Prismatic coefficient
ie	Half angle of entrance
LCB	Longitudinal centre of buoyancy, measured from midships, positive is forward.
LCG	Longitudinal centre of gravity, measured from Midships, positive is forward.
Deadrise	Mean deadrise, or deadrise at 50% Lwl.

Hullspeed will allow calculations beyond these limits, however, the user should be aware that the accuracy of the algorithms is expected to decrease beyond the limits outlined above.

See Also [Glossary](#)

Date: Fri, 23 Jan 2004 10:37:23 +0100
From: "Gragen, Uwe" <ugragen@schottel.de> [add to address book]
[protect or block sender]
Subject: WG: Thruster Installation on Pelindo Tractor Tugs, our
TUG 1552
To: "'yusuf_keren79@eudoramail.com'" <yusuf_keren79@eudoramail.com>
Cc: SCHOTTEL Far East alternativ2 <schotfe@singnet.com.sg>, "Muecksch, Frank" <fmuecksch@schottel.de>

> Dear Mr. Yusuf,
>
> Thank you very much for your e-mail of 19th January 2004.
>
> Basically there are two types of tugs to be propelled by steerable
> Rudderpropeller systems which are the stern driven tug (ASD-tug
> =
> azimuthing stern drive tug) and the tractor tug.
>
> Our customer Pelindo has chosen the tractor tug form where steerable
> thrusters are located under the bow of the tugboat at a distance
> of 65 -
> 70 % of the waterline length from the stern.
>
> This arrangement has the advantage for that the thrusters are located
> forward of the towing hook and so by towing other objects there
> are always
> stable conditions because the towing force pulls the tug hull in
> to a
> correct position and capsizing of the boat by applying wrong manoeuvres or
> too high tow rope pulls is practically impossible.
>
> So generally spoken a tractor tug is easy to operate. The handling is very
> simple and logic and the tug is absolutely safe against failures
> in
> operation or wrong manoeuvres.
>
> There is a disadvantage however of a tractor tug which is a very
> high
> draft because the steerable thrusters are located under the bow
> and a
> relatively low free running speed caused by the high thrust deduction

ction of

- > the propellers acting in the forward part of the boat.
- >
- > The second possible form of propulsion installation in tug boats is the
- > stern drive in the azimuthing stern drive tugs where the thrusters are
- > located as far aft as possible.
- > This of course allows to install steerable right angle drives under the
- > stern of a tug boat in a much higher position than on a tractor tug which
- > results into a lower draft of the boat and due to better free running
- > efficiencies into higher speeds of the boat.
- >
- > With these types of ASD-tugs however only long distance towing should be
- > done with a tow rope leading over the stern.
- > These boats in forward towing can operate safely only if there is limited
- > manoeuvring in straight forward operation.
- >
- > If these boats do harbour operation with many manoeuvres, side towing ect.
- > over the stern there is always a risk of capsizing by wrong manoeuvres.
- >
- > When azimuthing stern drive tugs are operating as ship assist tug in
- > harbour they are towing therefore over the bow.
- > This means the tow rope is attached to special equipment at the bow and
- > the normal operation is stern first.
- >
- > This form of operation is also a safe one because the tow rope attached to
- > the bow always stabilizes the system.
- >
- > Of course for these types a second towing equipment has to be attached to
- > the bow and the crew has to be well trained for both types of operation i.
- > e.
- > - straight forward towing over the stern,
- > - ship assist towing over the bow.
- >

> We hope this explanation is understandable,
>
> best regards,
> Uwe Gragen
>

SERVICE MANUAL

No. 0200245 - 001

Keyword	PELINDO 550-1
Order no.	SVK 50611
Type of product	SRP 550 FP
Number of units	2
Factory numbers	14960 / 14961
Classification entity	GL on behalf of BKI
Input power (KW)	882
Input speed (rpm)	900
Min. operating speed (rpm)	250
Daturn / Date: 26.10.02	

SCHOTTEL GmbH & Co. KG
D-56322 Spay/Rhein
Telephon: 02628 / 61-0
Telefax : 02628 / 61-300 u. 61-345
Cables : schottel
Teletex : (17) 252891 SWSPAY

No. 2 x 2 SCHOTTEL Rudderpropellers

Type SRP 550 FP

for

2 x 28 t B.P. Tractor Tugboats

for

PT PELABUHAN INDONESIA II

Shipyard : PT PAL Indonesia
Yard-No. : M000187 & M000188
Vessel Type : Tractor Tug
Classification : G.L. on behalf of BKI
Class notation : BKI * A100 1 P (TUG) SM

SCHOTTEL Project : TUG-1551
SCHOTTEL Order No. : SVK 50611, 50613
SCHOTTEL Codeword : PELINDO 550-1/-2
SCHOTTEL Far East : SFE-10.287

Rev.	Issue Date	Alteration	Originator / Dot
0	03.05.02	Purchasing	VB2 / F. Mücksch
1	24.05.02	Propeller tolerances	VB2 / F. Mücksch
2	05.07.02	Spares	VB2 / F. Mücksch
3	14.08.02	Sense of rotation of engines	VB2 / F. Mücksch

TECHNICAL SPECIFICATION SCHOTTEL project TUG-1551 / 50611, 50613

Rev. 3



MAIN PARTICULARS

Rated power	:	882 kW (1200 PS)
Rated speed	:	900 RPM
Corresponding gear reduction	:	$i = 2.804:1$
Propeller stem length	:	2600 mm
Propeller diameter	:	1750 mm
Propeller type	:	Skewed, fixed pitch
Nozzle type	:	modified type 19A
Direction of rotation, looking at input shaft	:	Clockwise (both units)
Direction of rotation of propeller, looking from aft.	:	Starboard - clockwise Port - counter-clockwise
Turning speed (steering) for 180 deg.	:	10-12 sec.
Static bollard pull ahead at 100% MCR	:	28 tonnes
Service running speed at 80% MCR	:	11.0 kn.

SELECTED ENGINE

Engine is not part of SCHOTTEL supply.

Make	:	YANMAR
Model	:	6N21 A-SV
Rated power	:	883 kW @ 900 rpm
Direction of rotation	:	CCW, both engines when looking at flywheel

3)

The oil coolers for the hydraulic system of SRPs will be integrated in the low temperature cooling water circuit of the engine.

The engines are rigidly suspended.

At idle speed the minimum cooling water flow of $1.0 \text{ m}^3/\text{hr}$ and between idle and full speed a minimum water flow of $1.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ must be available.

1. SCHOTTEL RUDDERPROPELLER TYPE SRP 550

For installation from below into the vessel consisting of:

Upper gearbox, steering gearbox, intermediate stem section including steering transmission and lower gearbox with propeller.

The unit is supplied for well type mounting and has a mounting flange integral with the stem/steering gear casing. The unit is to be mounted from underneath into the cylindrical well with on top the mounting flange (manufactured by the yard). The SCHOTTEL flange is bolted to the ship's well mounting flange.

The seal ring (O-ring) and the mounting bolts are supplied by SCHOTTEL.

The bottom closing plate is included and welded to the brackets. Ship's well flange to be dimensioned according SCHOTTEL instructions. The thrust of the unit is transmitted through flange connection only.

The upper gearbox contains a set of right-angle helicoidal bevel gears for power transmission. At the drive input shaft, a back-lock is fitted to avoid turning of the SRP contrary to the normal direction of rotation. The clutch is mounted onto the input shaft of the upper gearbox and has a flange for direct connection to the cardan shaft. V-belt pulleys are adapted to the clutch for mechanical drive of hydraulic pump for steering.

Just below the upper gearbox, a cone-shaped housing is fitted. This housing is the support of the complete unit into the ship and includes the stem components and steering gear mechanism. Within the support bowl is the rotatable steering tube, which in turn houses the intermediate power transmission shaft, this being the connection between the upper- and lower drive bevel gears.

Inside the housing, the steering gear mechanism is mounted and incorporates two hydraulic steering motors, which deliver the steering torque to the main steering gear via planetary reduction gears and pinions. The steering gear includes an output shaft for driving the thrust direction and steering feedback transmitters which rotate 1:1 in synchronisation with the lower gearbox. The electric transmitter assembly is mounted to the top of the mounting flange and includes a mechanical thrust direction pointer for local indication.

The lower gearbox has a streamlined shape for minimum resistance in the water. The gearbox is mounted to the lower end of the steering tube and contains a set of right-angle helicoidal bevel gears, which drive the propeller shaft. The propeller shaft is sealed by multiple water seals and an oil seal, which run against a sleeve of corrosion and wear resistant material. An annular guard is provided between gearbox and propeller hub to protect the seals against ingress of foreign matter and fouling by rope etc.



The propeller hub and blades are cast in CuAlNi-Bronze.
Propellers are manufactured according to ISO 484/1 (2) - 1981 (E) Class 1.
Tolerances: $\pm 4.5\%$ in power absorption or
 $\pm 1.5\%$ in rpm accuracy

1)

Steel nozzle (type 19 A) with stainless steel inner surface is fitted around the propeller. Anodes are fitted on the outside of the nozzle for protection against electrolytic corrosion.

Bevel gears in the rudderpropeller are manufactured in matched sets and of high strength steel, case hardened, precision ground and lapped.

Other transmitting shafts and other elements are of high strength heat treated steels.

Bearings are of appropriate roller type and rated for long life duration.

LUBRICATION SYSTEM

Lubrication is ensured by a combined oil splash and circulation system, which is actuated by a helix fitted on the vertical drive shaft. The system is completely integrated, with a small header tank at the upper gearbox, the cone-shaped housing at the stem acting as the main oil reservoir. The upper gearbox is partly empty when in operation. Once the unit is stopped, the gearbox is filled up again as a preventive measure against corrosion at standstill. Oil cooling is ensured by heat dissipation through the immersed lower gearbox of the SRP and the cone-shaped support housing.

Components:

Oil tank, integrated part of Rudderpropeller.

Header tank, integrated part of upper gear housing.

Helix, attached to vertical transmission shaft inside steering pipe, circulates the oil between

upper gear and oil reservoir.

Temperature alarm, $t = 80$ degr. C. rising

Oil level indication, 2 sightglasses

Oil level alarm switch

STEERING

For the rudderpropeller, the SCHOTTEL steering system SST 612, Copilot 2000, is used; this being a follow-up type electro-hydraulic steering system.

TECHNICAL SPECIFICATION
SCHOTTEL project TUG-1551 / 50611, 50613

Rev. 3



The desired position of the rudderpropeller is pre-selected by means of a control wheel on the Copilot command unit.

At a given command, the hydraulic motors are actuated via an electronic control unit and the hydraulic steering system. The rudderpropeller position is indicated via an

electric repeating system by the thrust direction indicator located at the command position.

The steering speed is proportional to the commanded steering angle. This provides fast response for large steering angles and reducing proportionally for smaller steering angles.

In case of failure the follow-up steering system switches over automatically to a non-follow-up system.

3.1 Hydraulic system for steering

The hydraulic system comprises the following:

- : 1 Variable displacement hydraulic pump, mechanically driven via pulley and V-belt from SRP input shaft. The pump complete with belt tightening device is mounted on a common baseplate.

Power consumption max 19 kW.

- : 1 Hydraulic tank c/w oil cooler, oil level switch, oil filter, etc.

Required cooling water capacity for hydraulic system approx. 1.5 m³/hr between idle full speed of the engine.

Min 1.0 m³/hr at idle speed of the engine.

Max inlet temperature 38 deg.C. (fresh water, resp. seawater).

Heat to be dissipated approx. 3.3 kW.

- : 2 hydraulic motors, fitted to the steering gear of the SRP.

The hydraulic pump and tank will be installed as near as possible to the SRPs well flange, so that no hydraulic pipes are to be supplied by the shipyard.

The shipyard has to supply and install the pipe and connectors for cooling water.

TECHNICAL SPECIFICATION
SCHOTTEL project TUG-1551 / 50611, 50613

Rev. 3



ELECTRIC SYSTEM

voltage transformer from 380V (+/- 10%) AC, 50 Hz to 24V (+/- 20%) DC, total cap. A per unit, with automatic change-over relay to 24V DC emergency power, installed in the main terminal box, being supplied by SCHOTTEL.

The emergency electric power 24V DC, 10A (fuse 16A), necessary for control and monitoring must be supplied by the shipyard. For this purpose a stabilised voltage

supply of 24V +/- 20%, with a residual AC component of less than 1 Volt has to be available.

The SCHOTTEL terminal box necessary for the control system will be supplied loose. It contains the switches, relays, fused, printed circuit boards, etc. for SCHOTTEL internal use. All items are wired up onto a terminal strip.

Ambient temperature for box must not exceed 45 deg.C.

Internal wiring between control and monitoring instruments of the bridge consoles and terminal box as well as terminal box and assembly groups has to be carried out by the shipyard in accordance with SCHOTTEL electric wiring diagram.

In case there is a failure in the ship's AC system, power supply will be automatically switched over to the 24V DC emergency circuit. A warning switch for this failure is supplied by SCHOTTEL.

CONTROLS, INDICATORS

The wheelhouse has two control stations, one forward and one aft.

The following components will be included in the main (forward)- and slave (aft) bridge control panels, two panels for each SRP and each panel has following controls and indicators:

Controls:

- Copilot 2000 controller for steering, speed and clutch.
- Clutch operating switch
- Time dependable steering switch
- Change-over switch (forward to aft station)
- Dimmer

Indicators:

- Thrust direction indicator, with built-in illumination
- Shaft speed indicator, with built-in illumination.
- Group alarm
- Alarm

TECHNICAL SPECIFICATION
SCHOTTEL project TUG-1551 / 50611, 50613

Rev. 3



- Lamp test

The alarm system is supplied by SCHOTTEL. The alarm panel with all individual alarms is to be installed in the ECR. The main control panels in the wheelhouse are provided with a group alarm only. The following alarm sensors and indications are provided and are in accordance with the class requirements.

- : failure main power supply
- : failure emergency power supply
- : failure follow-up steering
- : min oil level rudderpropeller
- : max oil temperature rudderpropeller
- : hydraulic oil filter clogged
- : min hydraulic oil pressure
- : min hydraulic oil level
- : min. air pressure clutch

*Note: It maybe, that during final design the need for some more sensors/alarms is required.

The system is wired in a two-pole system with cables approved by the classification society. Cable specification to be used : IEC-92-3.

4.2 ENGINE SPEED CONTROL

A lever for speed control is integrated in the Copilot command unit. SCHOTTEL supplies a current signal in the range between 4 and 20 mA for the electronic engine governor or E/P converter (not SCHOTTEL supply).

5. POWER TRANSMISSION

Power transmission comprises:

- 1 Cardan shaft
- 1 Bobbin shaft with bearings and flange adapter.
- 1 Disengaging clutch el/pneumatically operated incl. auxiliaries.

From the hub of the elastic coupling to the input flange of the clutch, 1 short bobbin shaft (connection to el. coupling via keyless shrink fitting), 1 cardan shaft. All small hardware, such as bolts, nuts, etc. is included for mounting of cardan shaft.

It is required that the complete transmission from diesel engine to the propeller is calculated for torsional vibrations. The calculation to be prepared by engine manufacturer and submitted both to the classification society and SCHOTTEL. The calculation may require changes to the proposed machinery and elastic coupling.

TECHNICAL SPECIFICATION
SCHOTTEL project TUG-1551 / 50611, 50613

Rev. 3



or changes subject to further discussions.

The elastic coupling to be supplied by engine manufacturer must be selected applying a safety factor of 1.6 times nominal.

CLUTCH

pneumatically operated SCHOTTEL clutch type K-550 is mounted onto the SCHOTTEL input shaft by flange/belt connection.

Operating pressure is 10 bar. Minimum pressure is 9 Bar.
Consumption for one actuation is 46 l at 9 bar.

scope of supply includes:

Integral bearing for direct mounting to cardan shaft

Electro-pneumatic control unit with all control elements, indicators and valves as necessary for clutch control installed into a protected box, IP33. Power supply is 24V +/- 20%.

Air transfer joint at the aft end of the input shaft with a hose to connect with the air supply system.

Means to engage clutch in case of emergency.

Control unit shall be installed as close as possible to the upper gearbox.

Clutch is controlled by a switch, which is controlled by the speed lever in the control room. A bypass switch allows the control of the diesel engine speed over the full range with the clutch disengaged.

Means for connections to the ship's air supply system and components such as safety valves, drain valves, filters, air bottles, etc. have to be supplied and installed by the yard according to SCHOTTEL drawings and instructions.

PAINTING AND PRESERVATION

Rudderpropellers and all equipment will be painted as required for marine application.

Surfaces will first be cleaned and dried as preparation for painting; then the paint is applied in 3 layers as follows:

One layer of anti-corrosive primer

First coat of enamel

Top coat of enamel, colour is RAL 7000 (light-grey)

The above system is used for the upper section of the Rudderpropeller as well as all other room equipment.

For the lower gearbox and attached components (which will be in the water):

- 3 Layers of seawater resistant epoxy resin coating, thickness is 200 micron, colour dark brown/black.

7. TOOLS

- One set of high pressure pumps and gear for removal of keyless fittings.
- A box with pressure indicators and accessories for monitoring the hydraulic system via the Minimes connections.

8. SPARE PARTS

For each tug, we supply

- A set of spares according class requirements for restricted service.
- A set of owner required spare parts acc. to appendix A.

2)

9. MANUALS

Five (5) manuals per shipset in English to suit the specified equipment are supplied.

Five (5) sets of approval drawings and five (5) sets of approved drawings will be supplied.

Principal parts in the manual are :

- Operating and maintenance instructions.
- Spare parts lists
- Installation instructions.

10. TESTS, CERTIFICATES

All components/systems are tested separately at SCHOTTEL or subcontractors works, whichever is more practical.

All tests are done under the responsibility of the SCHOTTEL Quality Assurance Department; Works Certificates covering the test are supplied.

The propulsion system supplied is in accordance to Germanischer Lloyd (on behalf of BKI) rules, including certificate.

Class notation: BKI * A100 1 P (TUG) SM

11. NOT PART OF SCHOTTEL SUPPLY

- Installation of the system
- Outer well

TECHNICAL SPECIFICATION
SCHOTTEL project TUG-1551 / 50611, 50613

Rev. 3



ernal electric cables and wiring
g water pipe lines and supply of cooling water
ng materials
lubrication and hy-system
coupling (selected with a safety factor of 1.6 times nominal)
nal vibration calculation
c power supply (AC, DC)
engines
ts not specially indicated in the above specification as part of
TTEL supply

APPENDIX A

OWNER REQUIRED SPARE PARTS FOR EACH SHIPSET SRP 550 FP

A. PNEUMATIC CLUTCH

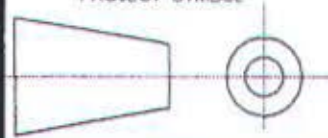
Set friction shoes
Set Seals

B. SHAFTING AND RUDDERPROPELLER


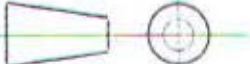
Set bearings for one shaftline, comprising one of each type and size
Set bearings for one SRP, comprising one of each type and size
Set seals and packings for one shaft line
Set seals and packings for one Rudderpropeller
Set hoses and joints for hydraulic steering installation
Set seals and packings for hydraulic steering unit

INDEX MODIFICATION REVISION	ZONE	DATE	REVISION AND MODIFICATION		DRAWN BY	DESIGNED BY	CHECKED BY	APPROVED BY
			DESCRIPTION					

2003	PROJECT NAME :		PROJECT NO.	
DATE	SIGN	TUG BOAT 2400 HP	M.000187	
DESIGNED BY		DRAWING / DOCUMENT NAME : TEST RECORD OF INCLINING TEST	OWNER : PT. PELINDO II	
CHECKED BY			CLASSCODE : BKI	
APPROVED BY			DESIGNER : PT. PAL INDONESIA	
			GROUP :	
ALL RIGHT RESERVED ARE PROPERTY OF PT. PAL INDONESIA			SCALE :	
			SIZE : A4	
			SHEET : 01 OF	
			DRAWING / DOCUMENT NO	
PROJECT SYMBOL			REV	1 2 3 4 5



OWNER SURVEYOR	CLASS / BKI	PT. PAL INDONESIA (PERSERO) QUALITY ASSURANCE DIVISION MANAGER SHIPBUILDING
		

: 2003		PROJECT NAME :	PROJECT NO. :
DATE		TUG BOAT 2 X 1200 HP JAYAKARTA 1	M000187
OWN BY		DRAWING / DOCUMENT NAME :	OWNER : PELINDO II
DESIGNED BY	16/05 <i>[Signature]</i>	RESULT OF INCLINING TEST	CLASS : B K I
CHECKED BY	19/05 <i>[Signature]</i>		DESIGNER : PT. PAL
APPROVED BY	19/05 <i>[Signature]</i>		GROUP : SHIP PERFORMANCE & CS
			SCALE : --
ALL RIGHTS RESERVED PROPERTY OF PT. PAL INDONESIA			SIZE : A4
ACTION SYMBOL		 INDONESIA	SHEET : 01 OF 01
			DRW / DOCUMENT NO. : 1100904



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST PROCEDURE FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek

Project

TUG BOAT 2 X 1200 HP
JAYAKARTA 1

M000187

No. Gambar

1100904

Hal

Dari

Drawing No

Page

From

PRINCIPAL PARTICULARS :

LENGTH OVERALL	=	30.00 M
LENGTH WATER LINE	=	28.40 M
BREADTH	=	9.50 M
DEPTH	=	3.80 M
DRAFT DESIGNED	=	4.60 M
COMPLEMENT	=	8 MEN



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST PROCEDURE FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek
Project

TUG BOAT 2 X 1200 HP
JAYAKARTA 1

MOG0187

No. Gambar
Drawing No

1100904

Hal
Page

Can
From

1. UMUM / General

TEMPAT DAN HARI PERCOBAAN : SURABAYA, SUNDAY 11 MAY 2003

Place and Day of Test

GALANGAN / Sertifi : PT PAL INDONESIA

PENAMBATAN / Mooring : FREE MOORINGS

ARAH DAN KECEPATAN ANGIN : 45° S FROM BOW & 2.83 M/SEC.

Direction and Force of Wind

DAFTAR BEBAN KOREKSI : WITHOUT CORRECTED WEIGHTS

List of Corrected Weight

TEMPERATURE AIR : 29° C

*Temperature of Water*BERAT JENIS AIR : 1.02 T/M³*Specific Weight of Water*

CATATAN / Remarks : INCLINING TEST : 13.30 - 15.00 BBW!

: DRAFT READING : 15.00 - 15.30 BBW!

2. PEMBACAAN SARAT DARI TANDA SARAT*Draft Reading from Draft Marks*


HARGA SARAT TERMASUK BEBAN PERCOBAAN

In the value of draft the inclining test weights are included

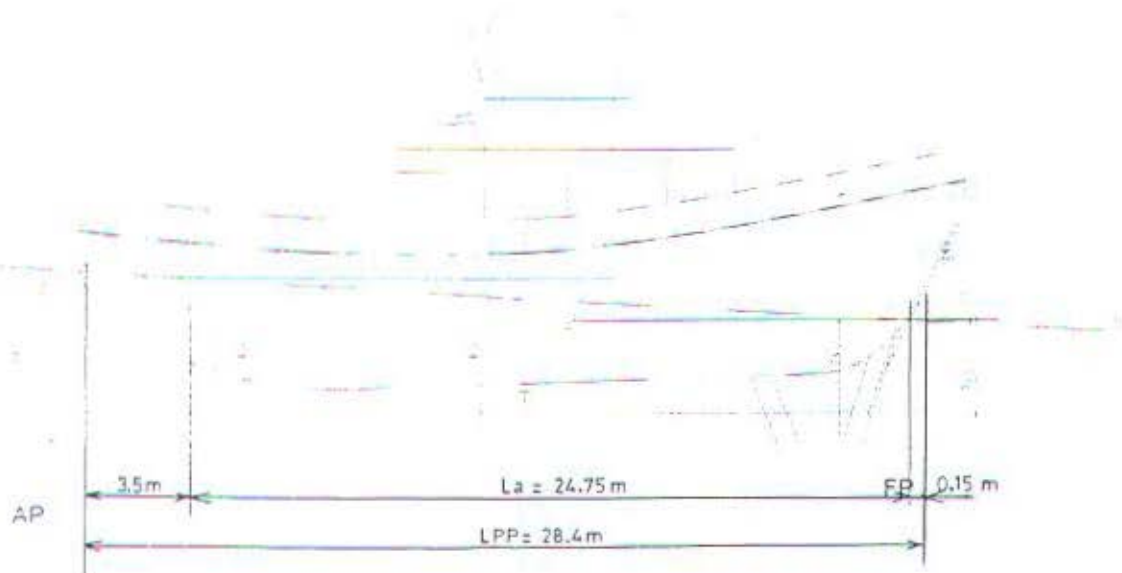
TITIK 0 PADA SEMUA KETERANGAN ADALAH 0.016 M DI BAWAH GARIS DASAR

The 0 - point of all remarks is 0.016 m below baseline

SARAT / Draft <i>in Meter</i>	KIRI <i>Port Side</i>	KANAN <i>Stb. Side</i>	RATA-RATA <i>Mean</i>	DARI AP <i>From AP</i>
SARAT BELAKANG <i>Aft Draft Marks</i>	4.220	4.255	4.238	3.500
SARAT TENGAH <i>Middle Draft Marks</i>				
SARAT DEPAN <i>Fore Draft Marks</i>	4.610	4.610	4.610	28.260

 INDONESIA	PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU		Proyek: Project: TUG BOAT 2 X 1200 HP JAYAKARTA 1	
	TEST PROCEDURE FOR NEW SHIPBUILDING			
M000187	No. Gambar Drawing No	1100904	Hal : Page	Dari : From

3. PERHITUNGAN KOREKSI SARAT / Draft Correction Calculation



$$\begin{aligned}
 \text{TRIM AWAL / Apperend Trim } (to) &= da' - df' \\
 &= 4.238 - 4.610 \\
 &= -0.373 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

KOREKSI SARAT / Draft Correction

$$\begin{aligned}
 \text{BELAKANG / Aft } (\delta da) &= (to / La) \times 3.5 = (-0.373 / 24.75) \times 3.5 \\
 &= -0.053 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{DEPAN / Fore } (\delta df) &= (to / La) \times 0.15 = (-0.373 / 24.75) \times 0.15 \\
 &= -0.002 \text{ meter}
 \end{aligned}$$



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST PROCEDURE FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek

Project

TUG BOAT 2 X 1200 HP
JAYAKARTA 1

M000187

No. Gambar :

1100904

Drawing No

Hal :

Page

Dari :

From

4. PERHITUNGAN DISPLACEMENT / Displacement Calculation



PEMBACAAN SARAT Draft Reading	BELAKANG Aft	TENGAH Middle	DEPAN Fore	BERAT JENIS AIR S.G. of Water =
KIRI / Port	4.220		4.610	1.020 t/m ³
KANAN / Starboard	4.255		4.610	TRIM AWAL
RATA-RATA / Mean	4.238		4.610	Apparent Trim (t _a) =
KOREKSI SARAT Draft Correction	-0.053		-0.002	-0.373 m
SARAT TERKOREKSI Corrected Draft	4.185		4.612	SARAT RATA-RATA Mean Draft (d _M) =
PERBEDAAN SARAT Trim	-0.428 m			4.399 m
				(-) KE DEPAN / by bow
				(+) KE BELAKANG / by stern
DEFLEKSI Deflection (δd) = dO - dM =				(-) CEKUNG / Hogging
				(+) CEMBUNG / Sagging
DISPLACEMENT (DARI TABEL HIDROSTATIK) (Δ ₀)				
Displacement (from Hydrostatic Table)	452.390		Ton	
MID-F (DARI TABEL HIDROSTATIK)				BERPEDOMAN PADA
MID-F (from Hydrostatic Table)	-0.031		m	Correspond to dM
TPC (DARI TABEL HIDROSTATIK)				4.399 m
TPC (from Hydrostatic Table)	2.310		Ton	
KOREKSI DISPLACEMENT TERHADAP TRIM (Δ ₁) = (Mid-F x TPC x Trim x 100) / LPP				
Displacement Correction due to Trim				0.108 Ton
KOREKSI DISPLACEMENT TERHADAP DEFLEKSI (Δ ₂) = (3/4 x δd x TPC x 100)				
Displacement Correction due to Deflection				Ton
DISPLACEMENT KESELURUHAN (Δ') = Δ ₀ + Δ ₁ + Δ ₂				
Total Displacement				452.498 Ton
DISPLACEMENT KENYATAAN (Δ) = (Δ') x S.G. / 1.025				
Actual Displacement				450.290 Ton
MID-B (DARI TABEL HIDROSTATIK)				BERPEDOMAN PADA
MID-B (from Hydrostatic Table)	0.201		m	Correspond to (Δ')
MTC (DARI TABEL HIDROSTATIK)				452.498 Ton
MTC (from Hydrostatic Table)	3.600		tm	
MID-G = MID-B + (MTC x Trim x 100) / Δ'				-0.158 m
LCG = (LPP / 2) - MID-G				14.558 m



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST PROCEDURE FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek

Project

TUG BOAT 2 X 1200 HP
JAYAKARTA 1

M000187

No. Gambar :

1100904

Hal :

Dari :

Drawing No.

Page

From

5. GOM PADA SAAT PERCOBAAN

GoM at The Inclining Test

SETIAP SISI SETENGAH BEBAN PERCOBAAN

Half Test Weight Each Side

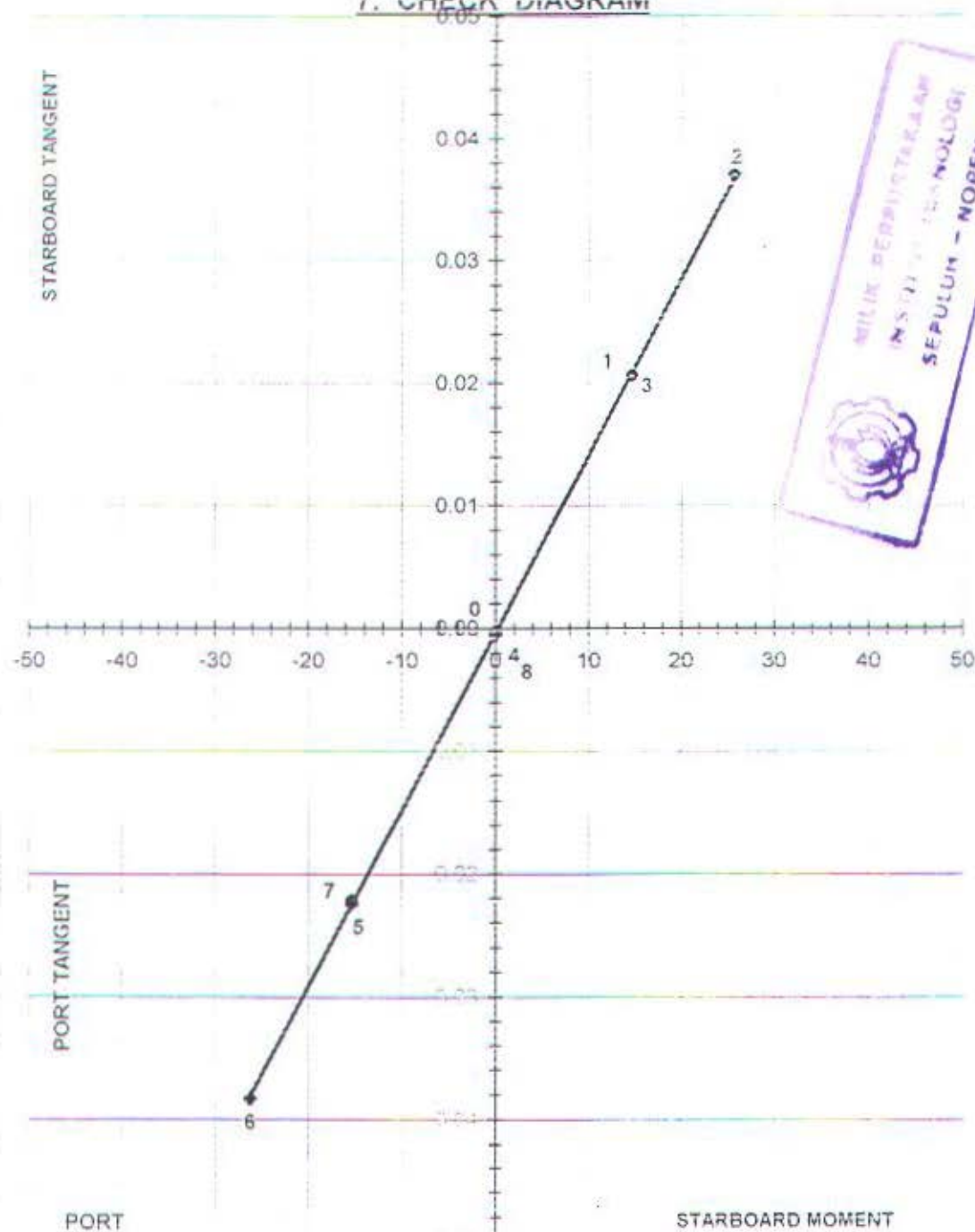
ITEM	SHIFTING	0		1		2		3		4		5		6		7		8	
		P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S
SUSUNAN PENGGESERAN		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
BEBAN / Shifting Weight		2		2		2		2		2		2		2		2		2	
Arrangement		3		3		3		3		3		3		3		3		3	
BEBAN YANG DIGESER		4		4		4		4		4		4		4		4		4	
Shifting Weight		-		2.255		1.685		1.685		2.255		2.300		1.675		1.675		2.300	
JARAK PERGESERAN		-		6.500		6.500		6.500		6.500		6.500		6.500		6.500		6.500	
Shifting Space		-		6.500		6.500		6.500		6.500		6.500		6.500		6.500		6.500	
MOMEN PERGESERAN		-		14.600		10.985		10.985		14.600		15.342		10.985		10.985		15.342	
Shifting Moment		-		14.600		10.985		10.985		14.600		15.342		10.985		10.985		15.342	
TOTAL KOMULATIF		-		14.600		25.675		14.600		0.000		-15.342		-25.675		-15.342		0.000	
PENDULUM DEPAN	PEMBACAAN	0		36		64		36		-1		-39		-67		-38		-1	
Fore Pendulum	Reading	0		36		64		36		-1		-39		-67		-38		-1	
1735	PENYIMPANGAN	-		36		28		28		37		38		28		29		37	
(mm)	Deviation	-		36		28		28		37		38		28		29		37	
	Tg. 0	-		0.020749		0.016138		0.016138		0.021326		0.021902		0.016138		0.016715		0.021326	
PENDULUM BELAKANG	PEMBACAAN	0		46		63		46		-1		-50		-65		-50		0	
Aft Pendulum	Reading	0		46		63		46		-1		-50		-65		-50		0	
2235	PENYIMPANGAN	-		46		37		37		47		48		35		35		50	
(mm)	Deviation	-		46		37		37		47		48		35		35		50	
	Tg. 0	-		0.020582		0.016555		0.016555		0.021029		0.021924		0.015660		0.015660		0.022371	
Tg. 0 RATA-RATA / Mean of Tg. 0		-		0.020665		0.016347		0.016347		0.021177		0.021913		0.015809		0.015807		0.021845	
TOTAL KOMULATIF		-		0.020665		0.022042		0.020665		-0.000512		-0.022425		-0.020665		-0.022137		-0.000289	
GoM =	Shifting Moment / Tg. 0 x Dapt	-		1.6		1		1.5		1.5		1.6		1.5		1.5		1.6	
		-								1.578									

6. SUDUT KEMIRINGAN PADA SAAT PERCOBAAN

Heeling Angle at The Inclining Test

SARAT / Draft in Meter	KIRI Port Side	KANAN Stb. Side	PERBEDAAN Difference
SARAT TENGAH Middle Draft Marks	4.415	4.433	-0.018
LEBAR PADA GARIS AIR Breadth in Waterline	6.500		meter
SUDUT KEMIRINGAN Heeling Angle	-0.100		degrees
TITIK BERAT MELINTANG Trans. Centre of Gravity (TCG)	-0.003		meter

7. CHECK DIAGRAM





INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST PROCEDURE FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek

Project

TUG BOAT 2 X 1200 HP
JAYAKARTA 1

M000187

No. Gambar

1100904

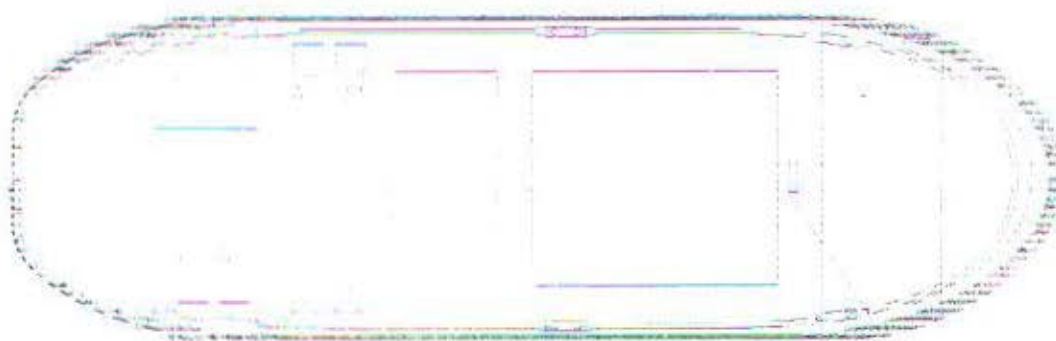
Drawing No

Hal

Page

Dari

From

8. SUSUNAN PERGESERAN BEBAN PERCOBAAN DAN POSISI PENDULUM*Arrangement of Shifting Test Weights and Pendulum Position*PENDULUM BELAKANG
Fr. 21-240 mmPENDULUM DEPAH
Fr. 44-470 mm**BEBAN PERCOBAAN / Test Weight**

1	
NO	WEIGHT
1	2.260 t
SUM	2.260 t

2	
NO	WEIGHT
1	1.690 t
SUM	1.690 t

3	
NO	WEIGHT
1	2.360 t
SUM	2.360 t

4	
NO	WEIGHT
1	1.670 t
SUM	1.670 t



INDONESIA

**PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU**

TEST PROCEDURE FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek

Project

**TUG BOAT 2 X 1200 HP
JAYAKARTA 1**

M000187

No. Gambar
Drawing No

1100904

Hal :
Page

Dari
From

9. TITIK BERAT KAPAL PADA SAAT TEST

Centre of Gravity at the Inclining Test

DISPLACEMENT DENGAN KULIT TANPA POROS <i>Displacement with Shell and Shafts</i>	=	450.290	kg
K M = TINGGI METASENTRIC DI ATAS LUNAS <i>Metacentric Height above Keel</i>	=	6.679	m
GM = G ₀ M + G ₀ g	=	1.663	m
KG = KM - GM = TITIK BERAT VERTIKAL DI ATAS LUNAS <i>Vertical Centre of Gravity above Keel</i>	=	5.016	m
LCG = TITIK BERAT MEMANJANG DARI AP <i>Longitudinal Centre of Gravity from AP</i>	=	14.358	m

10. KOREKSI TERHADAP PERMUKAAN BEBAS

Correction due to Free Surface (G₀G₀)

TANKS	Sounding	Transv. Inert. (m ⁴)	F. S. Moment (tm)
F.O.T (P) Fr. 7-13	3.24	4.678	4.000
F.U.T (S) Fr. 7-13	3.24	4.678	4.000
F.W.T (P) Fr. 46-53	1.82	14.900	15.000
F.W.T (P) Fr. 46-53	1.82	14.900	15.000
F.W.T (C) Fr. 3-A8		0.000	0.000
TOTAL OF FREE SURFACE MOMENT IN TON METER			38.000
G G ₀ (METER) = F.S Moment / Displacement			0.084

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek
Project

TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1

Kode : M000187

No. Gambar
Drawing No

1100904

Hal
Page

Dari
From

II. KONDISI KAPAL KOSONG

Light Ship Condition

ITEM	WEIGHT (t)	LCG (m)	L. MOMENT (tm)	VCG (m)	V. MOMENT (tm)	TCG (m)	T. MOMENT (tm)
KONDISI KAPAL SAAT TEST <i>Ship Condition at the Inclining Test</i>	450.290	14.358	6465.270	5.016	2258.640	-0.003	-1.351
MUATAN YANG DITAMBAHKAN <i>Weights to be added</i>	(+) 4.469	16.641	(+) 74.371	6.738	(+) 30.110	-0.103	(+) -0.462
J U M L A H <i>S u m</i>	454.759	14.380	6539.641	5.033	2288.750	-0.004	-1.813
MUATAN YANG DIKELUARKAN <i>Weights to be deducted</i>	(-) 79.780	10.633	(-) 848.288	4.365	(-) 348.253	-0.003	(-) -0.260
KAPAL KOSONG <i>Light Ship</i>	374.979	15.178	5691.352	5.175	1940.497	-0.004	-1.553

DISPLACEMENT
Displacement

= 374.979 t

KG = TITIK BERAT VERTIKAL DI ATAS LUNAS
Vertical Centre of Gravity above Keel

= 5.175 m

K M = TINGGI METASENTRIC DI ATAS LUNAS
Metacentric Height above Keel

= 7.037 m

GM = K M - K G
TINGGI METACENTRIC DARI TITIK BERAT
Metacentric Height Above Centre of Gravity

= 1.862 m

LCG = TITIK BERAT MEMANJANG DARI AP
Longitudinal Centre of Gravity from AP

= 15.178 m

TCG = TITIK BERAT MELINTANG DARI TENGAH KAPAL
Transversal Centre of Gravity from Centre line

= -0.004 m

SUDUT KEMIRINGAN
Heeling Angle

= -0.127 deg.



PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST PROCEDURE FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek

Project

TUG BOAT 2 X 1200 HP
JAYAKARTA 1

MOO0187

No Gambar

1100904

五

D3d1

Drawing No.

Page

Fronts

MUATAN YANG DIKELUARKAN / *Weights to be deducted*

[illegible]



TUG BOAT 2 X 1200 HP
JAYAKARTA 1

TEST PROCEDURE FOR NEW SHIPBUILDING

MOX0187

No. Gambar
Drawing No.

1100904

Hal
Page

Dari :
From :

MUATAN YANG DITAMBAHKAN / *Weights to be added*

I T E M	WEIGHT (t)	LCG (m)	L. MOMENT (tm)	VCG (m)	V. MOMENT (tm)	TCG (m)	T. MOMENT (tm)
FURNITURE	1.589	17.556	27.896	7.751	12.316	0.000	0.000
FIRE EXTINGUISHING	0.312	16.452	5.133	3.455	1.078	-0.270	-0.084
INVENTORY	0.500	15.000	7.500	4.250	2.125	0.000	0.000
SIDE FENDER (P&S)	0.440	14.000	6.160	6.200	2.728	0.000	0.000
TALI TEMALI	0.918	17.000	15.606	7.200	6.610	0.000	0.000
LINING : Crews room	0.120	14.750	1.770	7.200	0.864	2.000	0.240
Galley & Mess room	0.175	16.000	3.150	7.200	1.260	-2.000	-0.350
CEILING Lavatory room	0.040	15.500	0.620	8.100	0.324	-2.200	-0.088
Galley & Mess room	0.080	18.000	1.440	8.100	0.648	-2.000	-0.160
Captain room	0.025	20.800	0.520	8.100	0.203	-2.000	-0.050
Crews room	0.015	18.000	0.270	8.100	0.122	2.000	0.030
Gangway	0.180	16.000	2.880	8.100	1.458	0.000	0.000
ECR room	0.075	19.000	1.425	5.000	0.375	0.000	0.000
TOTAL OF WEIGHTS TO BE ADDED	4.469	16.641	74.371	6.738	30.110	-0.103	-0.462

YEAR : 2003		PROJECT NAME :		PROJECT NO :	
DATE		TUG BOAT 2 X 1200 HP JAYAKARTA 1		M000187	
DRAWN BY		DRAWING / DOCUMENT NAME :		OWNER : PELINDO II	
DESIGNED BY 20/03 <i>[Signature]</i>		RESULT OF SEA TRIAL (HULL PART)		CLASS : B K I	
CHECKED BY 21/05 <i>[Signature]</i>				DESIGNER : PT PAI	
APPROVED BY 21/5 <i>[Signature]</i>				GROUP : SHIP PERFORMANCE & CS	
ALL RIGHTS RESERVED PROPERTY OF PT. PAL INDONESIA				SCALE : 1:1	
QUESTION SYMBOL				SIZE : A4	
		INDONESIA		SHEET : 01 OF	
				DRW / DOCUMENT NO. : 1100905	



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST PROCEDURE FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek:

Project:

TUG BOAT 2 X 1200 HP
JAYAKARTA 1

Kapal : M000187

No. Gambar :

1100905

Hal

Dari :

p. No.

Drawing No.

Page

From

PRINCIPAL PARTICULARS :

LENGTH OVERALL	=	30.00 M
LENGTH WATER LINE	=	28.40 M
BREADTH	=	9.50 M
DEPTH	=	3.80 M
DRAFT DESIGNED	=	4.60 M
COMPLEMENT	=	8 MEN



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST REGARDS FOR NEW SHIP BUILDINGS

Proyek
Project

TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1

Code: MBB0107

No. Gambar
Drawing No.

1100905

Hal
Page

Das
From

1. PERCOBAAN KECEPATAN Progressive Speed Trial

TANGGAL PERCOBAAN <i>Date of Test</i>	18-Sep-03	TEMPERATUR <i>Temperature</i>	UDARA <i>Air</i>	29° C
TEMPAT PERCOBAAN <i>Place of Test</i>	JAVA SEA		AIR LAUT <i>Sea water</i>	30° C
KEDALAMAN LAUT <i>Depth of Sea</i>	21 METER	SARAT <i>Draft</i>	DEPAN <i>Fore</i>	4.51 M
JARAK PENGUKURAN <i>Measuring Space</i>	-	TANDA SARAT <i>Draft Marks</i>	TENGAH <i>Middle</i>	M
KEADAAN LAUT <i>Sea Condition</i>	MODERATE SEA	FP & AP	BELAKANG <i>Aft</i>	4.50 M
CUACA <i>Weather</i>	BLUE SKY	PERBEDAAN SARAT <i>Ton</i>		0.01 M
DISPLACEMENT <i>Displacement</i>	478.8 TON	KETENGGELAMAN PROPELLER <i>Propeller Immersion</i>		%

RUN NO.	1	2	3	4	5	6	7	8
PUTARAN MESIN UTAMA <i>Engine revolution (RPM)</i>	714	714	800	800	852	852	900	900
BEBAN MESIN <i>Main Engine load</i>	%	50	50	70	70	85	85	100
ARAH HALUAN KAPAL <i>Heading angle (Deg.)</i>	10	190	10	190	10	190	10	190
KECEPATAN ANGIN RELATIF <i>Relative wind speed (knot)</i>	V_{rel}	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3
ARAH ANGIN THE. HALUAN <i>Wind direction off bow (deg.)</i>	15° P	30° S	30° S	30° P	25° P	30° S	30° S	15° P
WAKTU PERCOBAAN <i>Time during the test (minute)</i>	5	5	5	5	5	5	5	5
KECEPATAN KAPAL (GPS) <i>Ship speed by GPS (knot)</i>	V_s	8.780	11.230	7.200	11.010	9.050	10.610	10.980
KECEPATAN RATA-RATA <i>Mean of Ship speed</i>		8.995		9.405		9.630		12.020 ✓

OWNER SURVEYOR

CLASS SURVEYOR

QA PT PAL SURVEYOR



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek
ProjectTUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1

Kode Kapal : M000157

No. Gambar

1100905

Hal :

Dari

No. Test

Drawing No.

Page

From

2. PERCOBAAN MELINGKAR*Turning Circle Test*

TANGGAL PERCOBAAN <i>Date of Test</i>	18-May-03	SARAT <i>Draft</i>	DEPAN <i>Fore</i>	4.51 METER
TEMPAT PERCOBAAN <i>Place of Test</i>	JAVA SEA		BELAKANG <i>Aft</i>	4.50 METER
KEDALAMAN LAUT <i>Depth of Sea</i>	18 METER	PERBEDAAN SARAT <i>Trip</i>		0.01 METER
CUACA <i>Weather</i>	BLUE SKY	DISPLACEMENT <i>Displacement</i>		175.8

GERAK MELINGKAR <i>Turning Circle Test</i>	KE KIRI <i>Left Turning</i>	KE KANAN <i>Right Turning</i>
KECEPATAN KAPAL (knot) <i>Ship speed</i>	20	20
PUTARAN MESIN UTAMA (rpm) <i>Main engine revolution</i>	852	852
SUDUT KEMUDI (deg) <i>Rudder Angle</i>	35	35
WAKTU KEMUDI BERPUTAR (sec) <i>Time of the rudder turning</i>	18	18
WAKTU KAPAL MELINGKAR (sec) <i>Time of the ship turning</i>	1'30"	1'25"
PERGERAKAN KE SAMPING (m) <i>Turned Diameter</i>	95.05 M = 0.05 NM = $3.17 \times L$	114.45 M = 0.06 NM = $3.82 \times L$
KEMAUHAN <i>Adventure</i>	63.14 M = 0.034 NM = $2.10 \times L$	65.41 M = 0.035 NM = $2.16 \times L$
DIAMETER DATA DATA (m) <i>Distance of the turning circle</i>	95.5 M = 0.05 NM = $3.15 \times L$	95.5 M = 0.05 NM = $3.28 \times L$

OWNER SURVEYOR

CLASS SURVEYOR

QA PT PAL SURVEYOR



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

Project

TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1

TEST RECORD FOR NEW SHIP BUILDING

No. Kapal : M000157

Ship No.

No. Gambar :

Drawing No.

1100905

Plat :

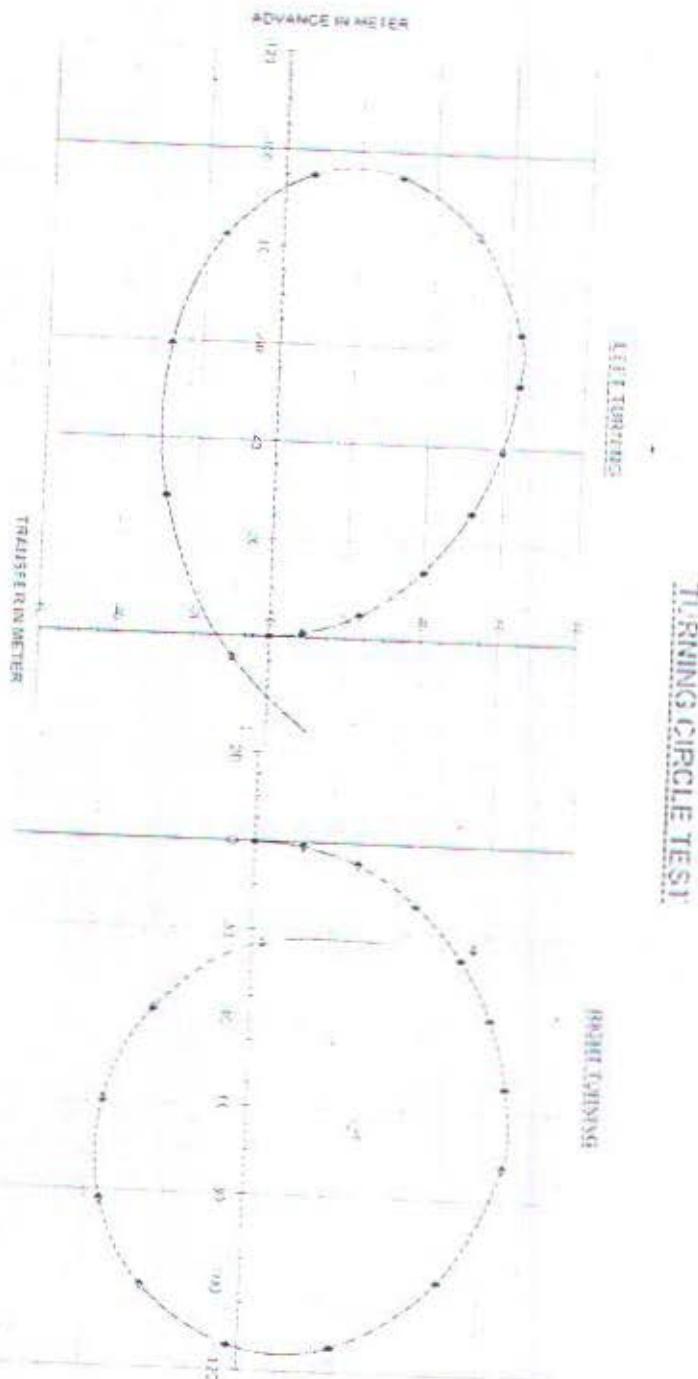
Page :

Dini :

Front

HEADING ANGLE (DEG)	TYPE OF TURN (DEG)	TRANSFER (METER)	ADVANCE (METER)
000	000	0.00	0.00
005	000	0.00	0.00
010	000	0.00	0.00
015	000	0.00	0.00
020	000	0.00	0.00
025	000	0.00	0.00
030	000	0.00	0.00
035	000	0.00	0.00
040	000	0.00	0.00
045	000	0.00	0.00
050	000	0.00	0.00
055	000	0.00	0.00
060	000	0.00	0.00
065	000	0.00	0.00
070	000	0.00	0.00
075	000	0.00	0.00
080	000	0.00	0.00
085	000	0.00	0.00
090	000	0.00	0.00
095	000	0.00	0.00
100	000	0.00	0.00
105	000	0.00	0.00
110	000	0.00	0.00
115	000	0.00	0.00
120	000	0.00	0.00
125	000	0.00	0.00
130	000	0.00	0.00
135	000	0.00	0.00
140	000	0.00	0.00
145	000	0.00	0.00
150	000	0.00	0.00
155	000	0.00	0.00
160	000	0.00	0.00
165	000	0.00	0.00
170	000	0.00	0.00
175	000	0.00	0.00
180	000	0.00	0.00
185	000	0.00	0.00
190	000	0.00	0.00
195	000	0.00	0.00
200	000	0.00	0.00
205	000	0.00	0.00
210	000	0.00	0.00
215	000	0.00	0.00
220	000	0.00	0.00
225	000	0.00	0.00
230	000	0.00	0.00
235	000	0.00	0.00
240	000	0.00	0.00
245	000	0.00	0.00
250	000	0.00	0.00
255	000	0.00	0.00
260	000	0.00	0.00
265	000	0.00	0.00
270	000	0.00	0.00
275	000	0.00	0.00
280	000	0.00	0.00
285	000	0.00	0.00
290	000	0.00	0.00
295	000	0.00	0.00
300	000	0.00	0.00

HEADING ANGLE (DEG)	TYPE OF TURN (DEG)	TRANSFER (METER)	ADVANCE (METER)
000	000	0.00	0.00
005	000	0.00	0.00
010	000	0.00	0.00
015	000	0.00	0.00
020	000	0.00	0.00
025	000	0.00	0.00
030	000	0.00	0.00
035	000	0.00	0.00
040	000	0.00	0.00
045	000	0.00	0.00
050	000	0.00	0.00
055	000	0.00	0.00
060	000	0.00	0.00
065	000	0.00	0.00
070	000	0.00	0.00
075	000	0.00	0.00
080	000	0.00	0.00
085	000	0.00	0.00
090	000	0.00	0.00
095	000	0.00	0.00
100	000	0.00	0.00
105	000	0.00	0.00
110	000	0.00	0.00
115	000	0.00	0.00
120	000	0.00	0.00
125	000	0.00	0.00
130	000	0.00	0.00
135	000	0.00	0.00
140	000	0.00	0.00
145	000	0.00	0.00
150	000	0.00	0.00
155	000	0.00	0.00
160	000	0.00	0.00
165	000	0.00	0.00
170	000	0.00	0.00
175	000	0.00	0.00
180	000	0.00	0.00
185	000	0.00	0.00
190	000	0.00	0.00
195	000	0.00	0.00
200	000	0.00	0.00
205	000	0.00	0.00
210	000	0.00	0.00
215	000	0.00	0.00
220	000	0.00	0.00
225	000	0.00	0.00
230	000	0.00	0.00
235	000	0.00	0.00
240	000	0.00	0.00
245	000	0.00	0.00
250	000	0.00	0.00
255	000	0.00	0.00
260	000	0.00	0.00
265	000	0.00	0.00
270	000	0.00	0.00
275	000	0.00	0.00
280	000	0.00	0.00
285	000	0.00	0.00
290	000	0.00	0.00
295	000	0.00	0.00
300	000	0.00	0.00



OWNER SURVEYOR:

CLASS SURVEYOR:

QA PT PAL SURVEYOR:

Lina
Pera

Pera

Pera



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

Project

TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1

TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

No. Kapal : M000187

Ship No

No. Gambar :

Drawing No.

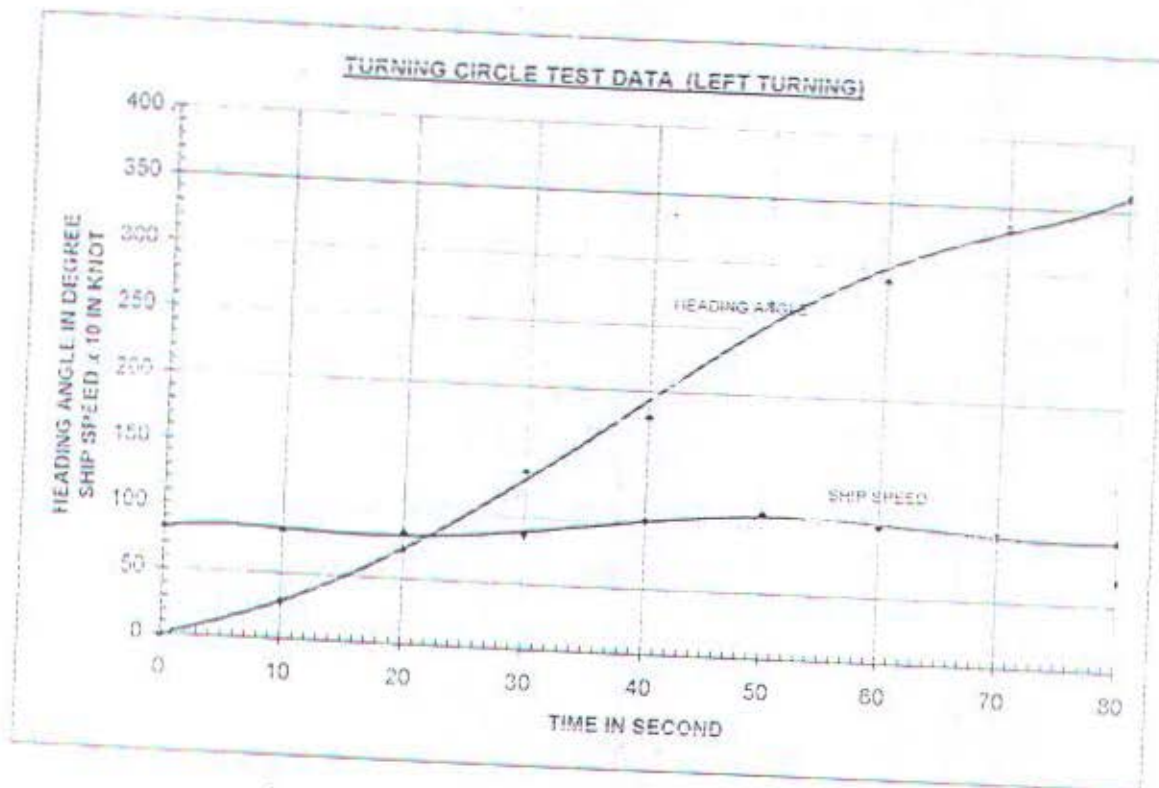
1100905

Hal

Page

Dari

From



TIME (MIN:SEC)	HEADING ANGLE (DEGREE)	SHIP SPEED (KNOTS)
0 - 10	10	0.2
10 - 20	20	0.2
20 - 30	30	0.2
30 - 40	40	0.2
40 - 50	50	0.2
50 - 60	60	0.2
60 - 70	70	0.2
70 - 80	80	0.2

TIME (MIN:SEC)	HEADING ANGLE (DEGREE)	SHIP SPEED (KNOTS)
0 - 10	10	0.2
10 - 20	20	0.2
20 - 30	30	0.2
30 - 40	40	0.2
40 - 50	50	0.2
50 - 60	60	0.2
60 - 70	70	0.2
70 - 80	80	0.2

OWNER SURVEYOR :

CLASS SURVEYOR :

QA PT PAL SURVEYOR :



PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1

TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

Model :
No. :

No. Gasket : 1100005
Drawing No. :

Hub :
Page :
Date :
From :



TIME (SEC)	HEADING ANGLE (DEGREE)	SHIP SPEED (KNOT)
0	0	8.5
10	25	8.5
20	50	8.5
30	75	8.5
40	100	8.5
50	125	8.5
60	150	8.5
70	175	8.5
80	200	8.5

TIME (SEC)	HEADING ANGLE (DEGREE)	SHIP SPEED (KNOT)
0	0	8.5
10	25	8.5
20	50	8.5
30	75	8.5
40	100	8.5
50	125	8.5
60	150	8.5
70	175	8.5
80	200	8.5

OWNER SURVEYOR

CLASS SURVEYOR

QA PT PAL SURVEYOR

[Signature]

[Signature]

[Signature]



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

Model

Project

TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA I

No. Gambar

Drawing No.

1100005

Hal

From

Page

From

3. PERCOBAAN MAJU MUNDUR DAN BERHENTI Crash Stop Astern and Ahead Test

TANGGAL PERCOBAAN Date of Test	18-May-00	TEMPERATUR Temperature	UDARA Air	29° C
TEMPAT PERCOBAAN Place of Test	JAVA SEA		AIR LAUT Sea water	30° C
KEDALAMAN LAUT Depth of Sea	21 METER	SARAT Draft	DEPAN Fore FP	4.51 M
JARAK PENGUKURAN Measuring Space			TENGAH Middle	M
KECEPATAN ANGIN RELATIF Relative wind speed	9.3 KNOTS		BELAKANG Aft AP	4.50 M
ARAH ANGIN TID. HALUAN Wind direction off bow	20° P	PERBEDAAN SARAT Trim		0.01 M
KEADYAN LAUT Sea Condition	MODERATE SEA	DISPLACEMENT Displacement		476.6 T
CUACA Weather	BLUE SKY	KETENGGELAMAN PROPELLER Propeller Immersion		%

CRASH STOP ASTERN TEST (FROM FULL AHEAD TO FULL ASTERN)

PUTARAN MESIN UTAMA PADA AWAL PERCOBAAN Main engine revolution at the order	850 RPM
BEBAN MESIN PADA AWAL PERCOBAAN Engine load at the order	80%
PUTARAN MESIN UTAMA PADA SAAT MUNDUR STABIL Main engine revolution at steady astern	850 RPM
LPP PADA AWAL SAAT MUNDUR STABIL Controlled Pitch Propeller at the steady astern	80%
KECEPATAN KAPAL PADA AWAL PERCOBAAN Ship speed at the order	7.3 KNOTS
KECEPATAN KAPAL PADA SAAT MUNDUR STABIL Ship speed at steady astern	12.4 KNOTS
ALUAN KAPAL PADA AWAL PERCOBAAN Ship heading at the order	185°
ALUAN KAPAL PADA SAAT KAPAL BERHENTI Ship heading at the ship stops	339°
WAKTU DARI AWAL PERCOBAAN SAMPAI PROPELLER BALIK ARAH Time from order propeller face to astern	0" - 18"
WAKTU DARI AWAL PERCOBAAN SAMPAI KAPAL BERHENTI Time from order until the ship stops	0" - 20"
WAKTU DARI AWAL PERCOBAAN SAMPAI KECEPATAN MUNDUR STABIL Time from order until the ship speed steady astern	0" - 50"
JARAK DARI AWAL PERCOBAAN SAMPAI KAPAL BERHENTI Distance from order until the ship stops	33 M (= 0.018 NM) (= 1.16 x LPP)
JARAK DARI KAPAL BERHENTI SAMPAI KECEPATAN MUNDUR STABIL Distance from ship stops until the ship speed steady astern	135 M (= 0.07 NM) (= 4.75 x LPP)

OWNER SURVEYOR :

CLASS SURVEYOR :

QA / PT PAL SURVEYOR

P. L. S.

2000

H. K.

B. K.

H. K.

H. K.

P. L. S.



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

Project:

Project:

TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1

No. Gambar:

No. Gambar:

1100905

Hal:

Dari:

Drawing No.:

Page:

From:

CRASH STOP AHEAD TEST (FROM FULL ASTERN TO FULL AHEAD)

PUTARAN MESIN UTAMA PADA AWAL PERCOBAAN <i>Main engine revolution at the order</i>	850 RPM
CPP PADA AWAL PERCOBAAN <i>Controlled Pitch Propeller at the order</i>	60%
PUTARAN MESIN UTAMA PADA SAAT MAJU STABIL <i>Main engine revolution at steady ahead</i>	650 RPM
CPP PADA AWAL SAAT MAJU STABIL <i>Controlled Pitch Propeller at the steady ahead</i>	60%
KECEPATAN KAPAL PADA AWAL PERCOBAAN <i>Ship speed at the order</i>	12.4 KNOTS
KECEPATAN KAPAL PADA SAAT MAJU STABIL <i>Ship speed at steady ahead</i>	7.5 KNOTS
HALUAN KAPAL PADA AWAL PERCOBAAN <i>Ship heading at the order</i>	2°
HALUAN KAPAL PADA SAAT KAPAL BERHENTI <i>Ship heading at the ship stops</i>	204°
WAKTU DARI AWAL PERCOBAAN SAMPAI KAPAL BERHENTI <i>Time from order until the ship stops</i>	0' - 22"
WAKTU DARI AWAL PERCOBAAN SAMPAI PROPELLER PALIK ARAH <i>Time from order propeller face to head</i>	0' - 18"
WAKTU DARI AWAL PERCOBAAN SAMPAI KECEPATAN MAJU STABIL <i>Time from order until the ship speed steady ahead</i>	1' - 10"
JARAK DARI AWAL PERCOBAAN SAMPAI KAPAL BERHENTI <i>Distance from order until the ship stops</i>	77 M (= 0.04 NM) (= 2.71 x LPP)
JARAK DARI KAPAL BERHENTI SAMPAI KECEPATAN MAJU STABIL <i>Distance from ship stops until the ship speed steady ahead</i>	144 M (= 0.07 NM) (= 5.07 x LPP)

OWNER SURVEYOR

CLASS SURVEYOR

QA PT PAL SURVEYOR



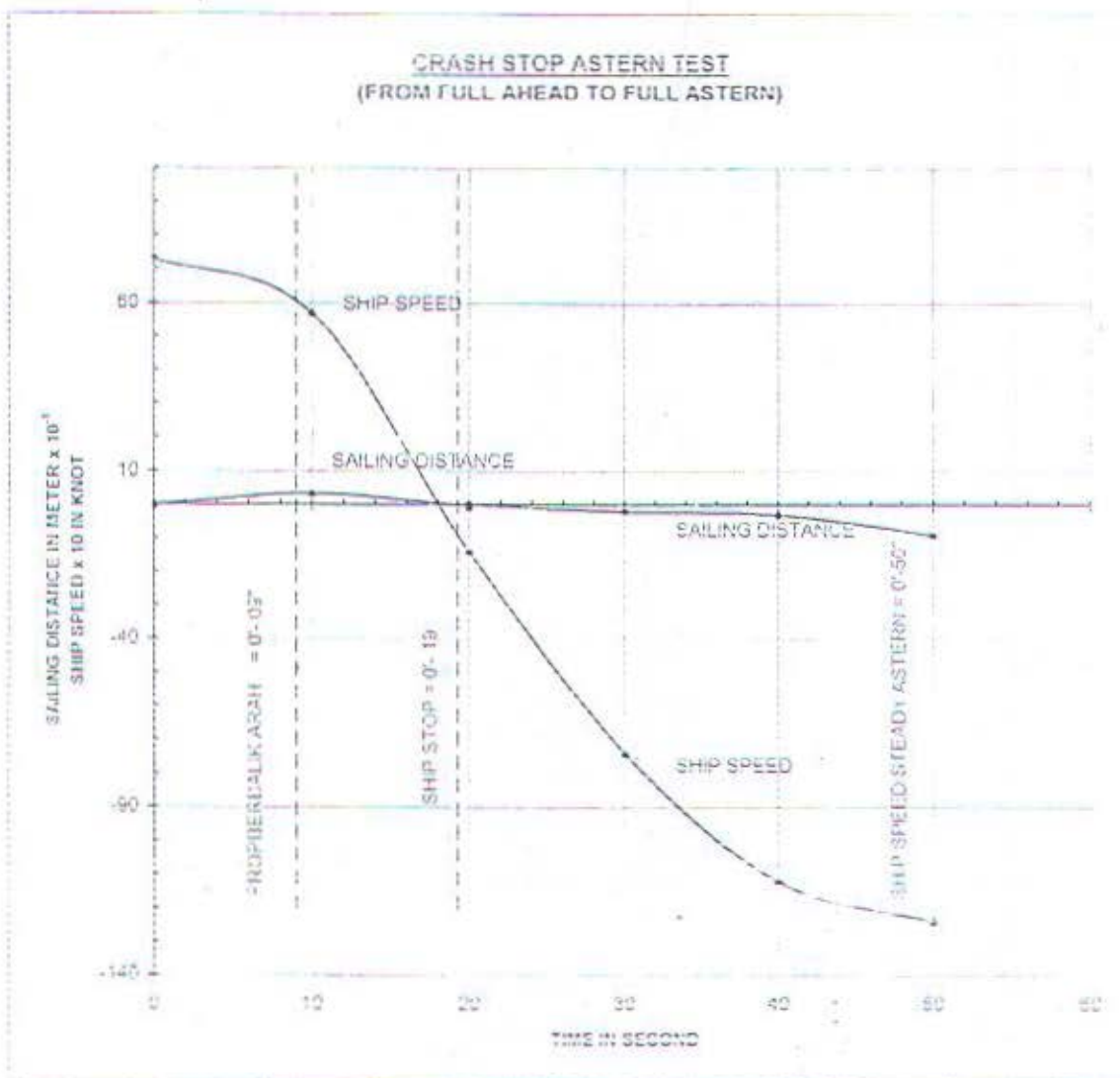
INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

Project:
Project:TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1Model: M000187
No:No. Gambar:
Drawing No. 2

1100905

Hal:
PageDok:
FormCRASH STOP ASTERN TEST
(FROM FULL AHEAD TO FULL ASTERN)

TIME	SHIP SPEED	SAILING DISTANCE
(MIN-SEC)	(KNOT)	(METER)
0 - 0	7.3	0
0 - 10	5.7	33
0 - 20	-1.4	-4
0 - 30	-7.4	-26
0 - 40	-11.2	-74
0 - 50	-12.4	-135

OWNER SURVEYOR:

CLASS SURVEYOR:

QA / FT PAL SURVEYOR:



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

Type:

Project:

TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1

No. Kapal: 11000167

Ship No.

No. Gambar:

Drawing No.

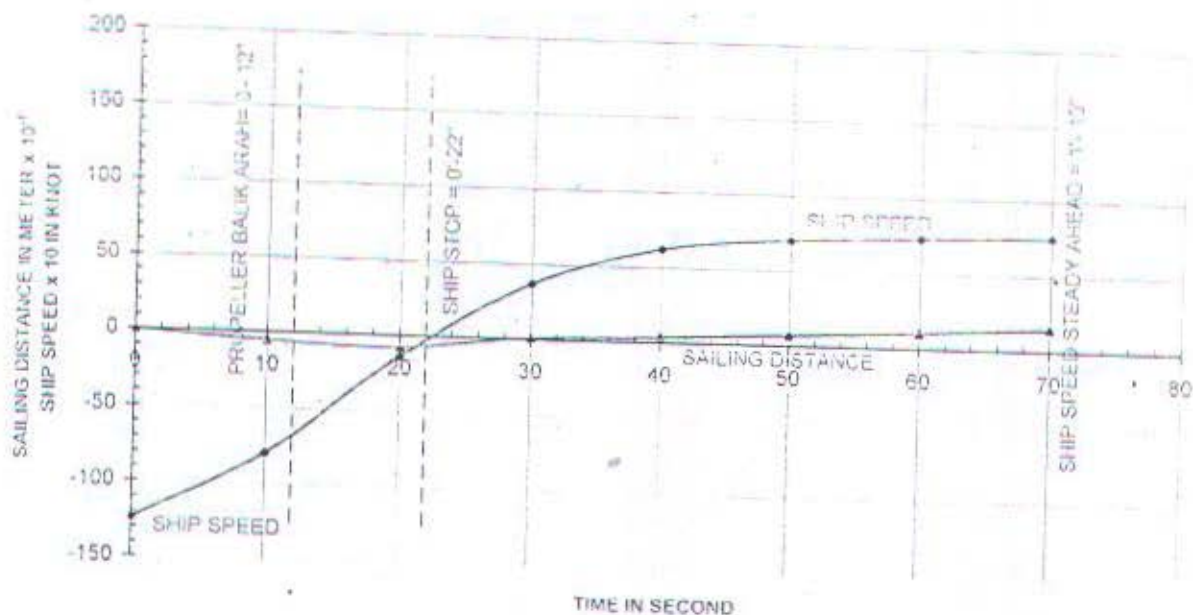
1100905

Hal:

Page:

Dari:

From:

CRASH STOP AHEAD TEST
(FROM FULL ASTERN TO FULL AHEAD)

TIME MIN-SEC	SHIP SPEED (KNOT)	SAILING DISTANCE (METER)
0-0	-12.4	0
0-10	-8.0	-52
0-20	-1.4	-77
0-30	3.7	10
0-40	6.2	35
0-50	7.0	69
1-0	7.3	106
1-10	7.5	144

OWNER SURVEYOR:

CLASS SURVEYOR:

QA FT PAL SURVEYOR:



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

Project

TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1

TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

No. Gambar: 1100905

Drawing No.

Page

Date

From

4. PERCOBAAN ZIG-ZAG

Zig-zag Manoeuvre Test

TANGGAL PERCOBAAN Date of Test	18-May-03	TEMPERATUR Temperature	UDARA Air	20° C
TEMPAT PERCOBAAN Place of Test	JAVA SEA		AKH LAUT Sea water	30° C
KEDALAMAN LAUT Depth of Sea	21 METER	SARAT Draft	CEPAN Fore	4.51 M
JARAK PENGUKURAN Measuring Space			TENDAH Mould	
KECEPATAN ANGIN RELATIF Relative wind speed	10 KNOTS		DELAKANG Aft	4.50 M
ARAH ANGIN TID. HALUAN Wind direction off bow	20° P	PERBEDAAN SARAT Trim		2.10 M
KEADAAN LAUT Sea Condition	MODERATE SEA	DISPLACEMENT Displacement		4723 T
CUACA Weather	BLUE SKY	KETENGGELAMAN PROPELLER Propeller immersion		%

PUTARAN MESIN UTAMA PADA AWAL PERCOBAAN

Main engine revolution at the order

680 RPM

M/E LOAD

Controlled Pitch Propeller

85%

KECEPATAN KAPAL PADA AWAL PERCOBAAN

Ship speed at the order

10 KNOTS

KEMIRINGAN Maksimal (°)

Maximum Heeling Angle

1.5°

RUDDER ANGLE (DEG.) AND TIME FROM ORDER (MIN-SEC.)	TIME (MIN-SEC.)	TEST NO. 1		TEST NO. 2	
		HEADING ANGLE (DEG.)		HEADING ANGLE (DEG.)	
TEST NO. 1		READING	CHANGE	READING	CHANGE
0 - 0		190	0	194	0
0 - 10		200	-10	199	-4
0 - 20		212	-22	214	-20
0 - 30		203.5	-13.5	225	-31
0 - 40		177	13	210	-16
0 - 50		200	-10	174	-30
1 - 0		212	-22	185	-28
1 - 10		200	-10	209	-12
1 - 20		180	10	225	-31
1 - 30				199	-1
1 - 40				179	-24
1 - 50					
2 - 0					
2 - 10					
2 - 20					
2 - 30					
2 - 40					
2 - 50					
3 - 0					
3 - 10					
3 - 20					
3 - 30					
3 - 40					
3 - 50					
4 - 0					
4 - 10					

OWNER SURVEYOR

CLASS SURVEYOR

QA/PT PAL SURVEYOR

Refalio

H. Prati

Hal



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

Project
ProjectTUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1

Paper: 11000107

No

No. Gambar

Drawing No.

1100305

Hal

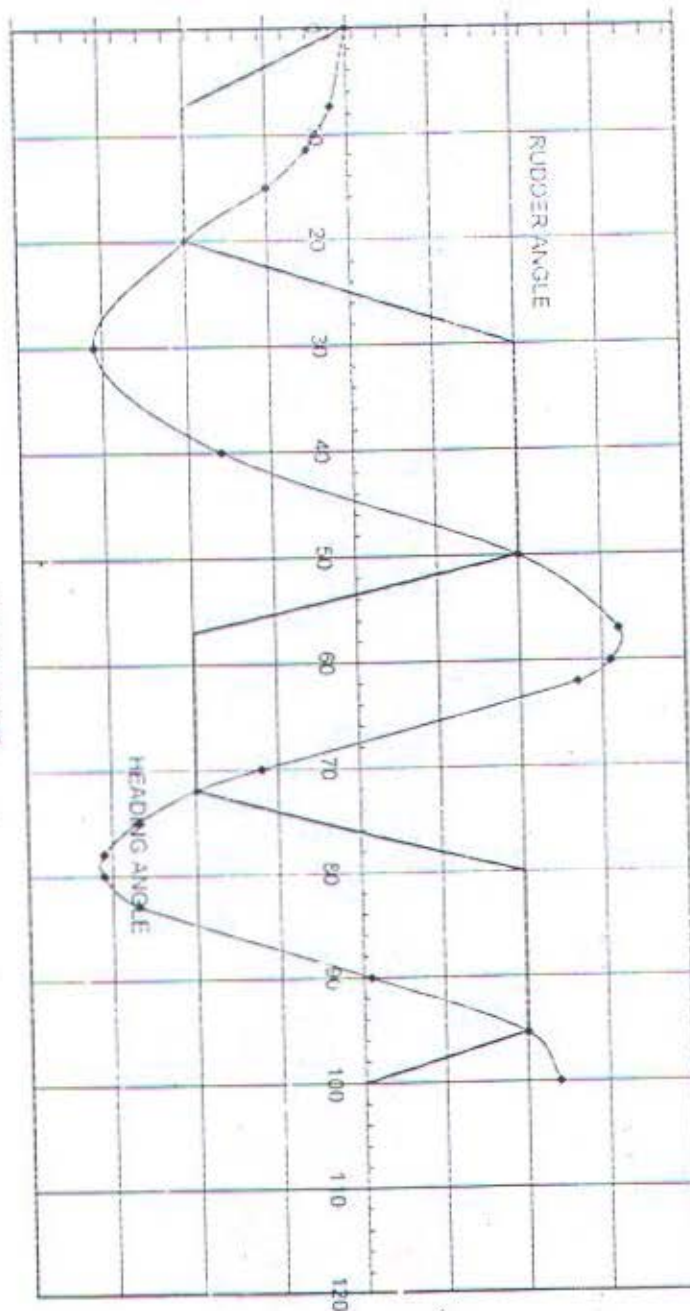
Page

Dari

From

RUDDER ANGLE & HEADING ANGLE
(DEGREE)20 S
0200 C
00020 P
340

TIME IN SECOND



ZIG-ZAG MANOUVRE NO. 2

OWNER SURVEYOR :

CLASS SURVEYOR :

QA PT PAL SURVEYOR :



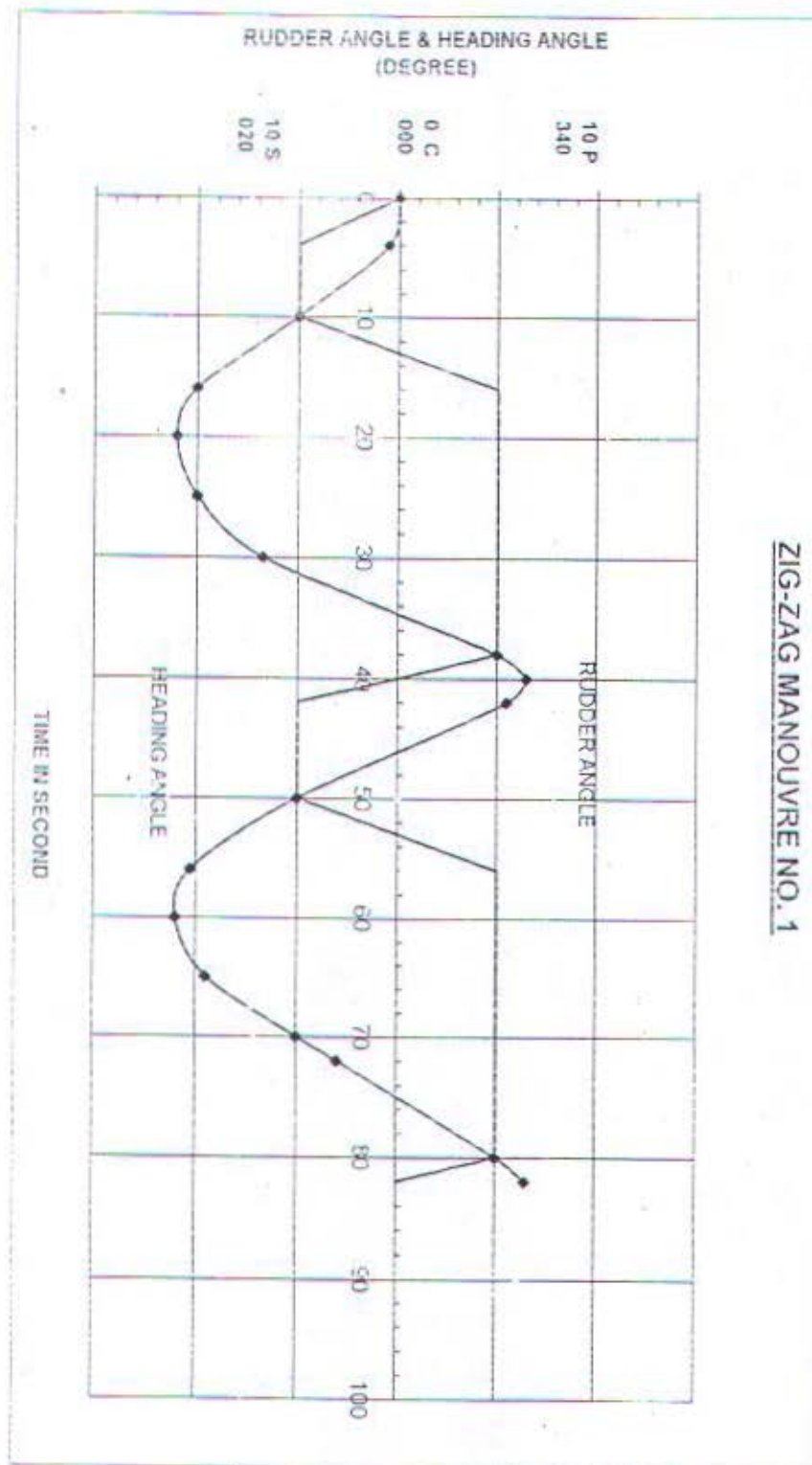
INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST RULES FOR NEW SHIPBUILDING

TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1Kapal : 11000101
712No. Gambar :
Drawing No. :

1100005

Hal :
Page :Dari :
From :ZIG-ZAG MANOUVRE NO.1

OWNER SURVEYOR

CLASS SURVEYOR

QA / PT PAL SURVEYOR



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek:
Project:

TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1

No. : M000137

No. Gambar
Drawing No.

1100905

Hal :
Page.

Dari :
From

5. PERCOBAAN MUNDUR
Reversing Trial

TANGGAL PERCOBAAN Date of Test	18-May-03	TEMPERATUR Temperature	UDARA Air	29°C
TEMPAT PERCOBAAN Place of Test	Java Sea		AIR LAUT Sea water	30°C
KEDALAMAN LAUT Depth of Sea	13 M	SARAT Draft	DEPAN Fore (FP)	4.51
JARAK PENGUKURAN Measuring Space	-	TANDA SARAT Draft Marks	TENGAH Middle	-
KECEPATAN ANGIN RELATIF Relative wind speed	10 Knots	FP & AP	BELAKANG Aft (AP)	4.50 M
ARAH ANGIN THD. HALUAN Wind direction off bow	-	PERBEDAAN SARAT Trim		0.01 M
KEADAAN LAUT Sea Condition	Moderate Sea	DISPLACEMENT Displacement		476.8 T
CUACA Weather	Blue Sky	KETENGGELAMAN PROPELLER Propeller Immersion		-

PUTARAN MESIN Engine revolution				800 RPM			
WAKTU Time (MIN-SEC)	HALUAN Heading (Degrees)	KECEPATAN Speed (KNOT)	JARAK Distance (METER)	WAKTU Time (MIN-SEC)	HALUAN Heading (Degrees)	KECEPATAN Speed (KNOT)	JARAK Distance (METER)
0 - 0	329	3.9	0	5 - 0			
0 - 30	0	11.6	40	5 - 30			
1 - 0	5	12.7	102	6 - 0			
1 - 30	5	12.3	167	6 - 30			
2 - 0	5	12.4	230	7 - 0			
2 - 30	5	12.4	294	7 - 30			
3 - 0	9	12.4	358	8 - 0			
3 - 30	9	12.3	421	8 - 30			
4 - 0	4	12.7	486	9 - 0			
4 - 30	9	12.8	551	9 - 30			
5 - 0	14	12.7	617	10 - 0			

OWNER SURVEYOR :

CLASS SURVEYOR :

QA / PT PAL SURVEYOR :

[Signature]
P2001

[Signature]

[Signature]
STAFFUL HI



BUDIDIRAMA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek
ProjectTUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1

No. Kapal: M000187

Ship No.

No. Gambar:

Drawing No.

1100905

Hal:

Page:

Dari:

From:

6. PERCOBAAN GERAK MELINGKAR "WILLIAMSON"
Williamson Turn Test

TANGGAL PERCOBAAN <i>Date of Test</i>	18-May-03	SARAT <i>Draft</i>	DEPAN <i>Fore</i>	4.51 METER
TEMPAT PERCOBAAN <i>Place of Test</i>	JAVA SEA		BELAKANG <i>Aft</i>	4.50 METER
KEDALAMAN LAUT <i>Depth of Sea</i>	18 METER	PERBEDAAN SARAT <i>Trim</i>		0.01 METER
CUACA <i>Weather</i>	BLUE SKY	DISPLACEMENT <i>Displacement</i>		476.9 T

ARAH PEMBALKAN HALUAN YANG DITENTUKAN <i>Defined course deviation</i>	60 DEG.
PUTARAN MESIN UTAMA PADA AWAL PERCOBAAN <i>Main engine revolution at the order</i>	852 RPM
HALUAN KAPAL PADA AWAL PERCOBAAN <i>Ship heading at the order</i>	190 DEG.
KECEPATAN KAPAL PADA AWAL PERCOBAAN <i>Ship speed at the order</i>	4.5
KECEPATAN KAPAL PADA AKHIR PERCOBAAN <i>Ship speed at the end</i>	12.3
WAKTU DARI AWAL PERCOBAAN SAMPAI MENCAPAI PEMBALKAN ARAH YANG DITENTUKAN <i>Time from order until defined course deviation</i>	0' - 31"
WAKTU DARI AWAL PERCOBAAN SAMPAI MENCAPAI ARAH SEMULA <i>Time from order until the ship heading reached initial heading</i>	1' - 51"
WAKTU DARI AWAL PERCOBAAN SAMPAI MENCAPAI PERUBAHAN HALUAN 90° <i>Time from order until the ship heading changed 90°</i>	1' - 02"
WAKTU DARI AWAL PERCOBAAN SAMPAI MENCAPAI KONDISI "HARD RUDDER" <i>Time from order until reached "Hard Rudder" condition</i>	0' - 18"
JARAK DARI AWAL PERCOBAAN SAMPAI MENCAPAI PERUBAHAN HALUAN 90° <i>Distance from order until the ship heading changed 90°</i>	123.06 M = 0.066 NM
JARAK MAKSIMUM PERGERAKAN <i>Maximum transverse drift</i>	123.48 M = 0.066 NM

OWNER SURVEYOR:

CLASS SURVEYOR:

QA / PT PAL SURVEYOR:



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

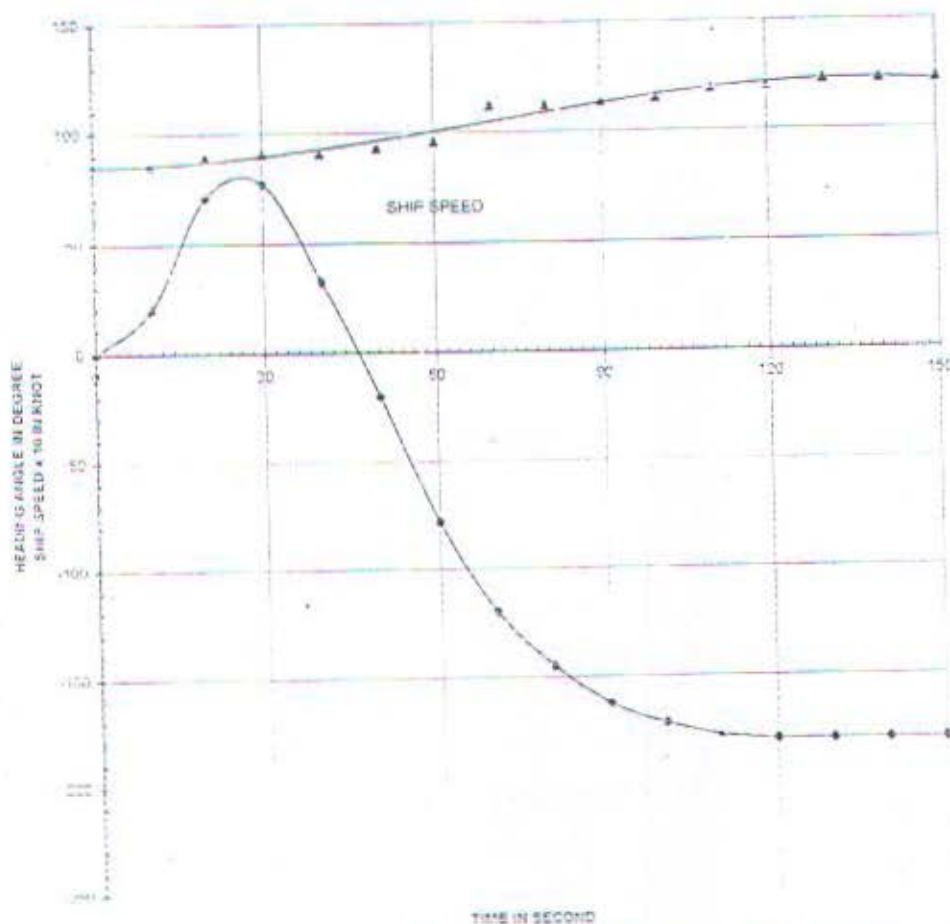
TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek:
Project:TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA I

Gambar : M000157

No. Gambar : 1100905
Drawing No.Hal :
Page:Dari :
From:

WILLIAMSON TURN (DATA)



TIME (MIN:SEC)	HEADING ANGLE (DEGREE)		SHIP SPEED (KNOT)
	READING	CHANGE	
0 - 0	0	0	8.5
0 - 10	85	85	8.5
0 - 20	25	71	8.9
0 - 30	-25	71	9.1
0 - 40	-75	53	9.3
0 - 50	-120	45	9.8
1 - 0	-145	25	11.2
1 - 10	-155	10	11.5
1 - 20	-165	10	11.9

TIME (MIN:SEC)	HEADING ANGLE (DEGREE)		SHIP SPEED (KNOT)
	READING	CHANGE	
1 - 30	-175	10	12.0
1 - 40	-180	5	12.3
1 - 50	-180	0	12.3
2 - 0	-180	0	12.3
2 - 10	-180	0	12.3
2 - 20	-180	0	12.3

OWNER SURVEYOR :

CLASS SURVEYOR :

QA PT PAL SURVEYOR :



INDONESIA

PETUNJUK PENGUJIAN/PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

Proyek:

Project:

TUG BOAT 2 x 1200 HP
JAYAKARTA 1

Kapal: M000187

No.

No. Gambar:

Drawing No.

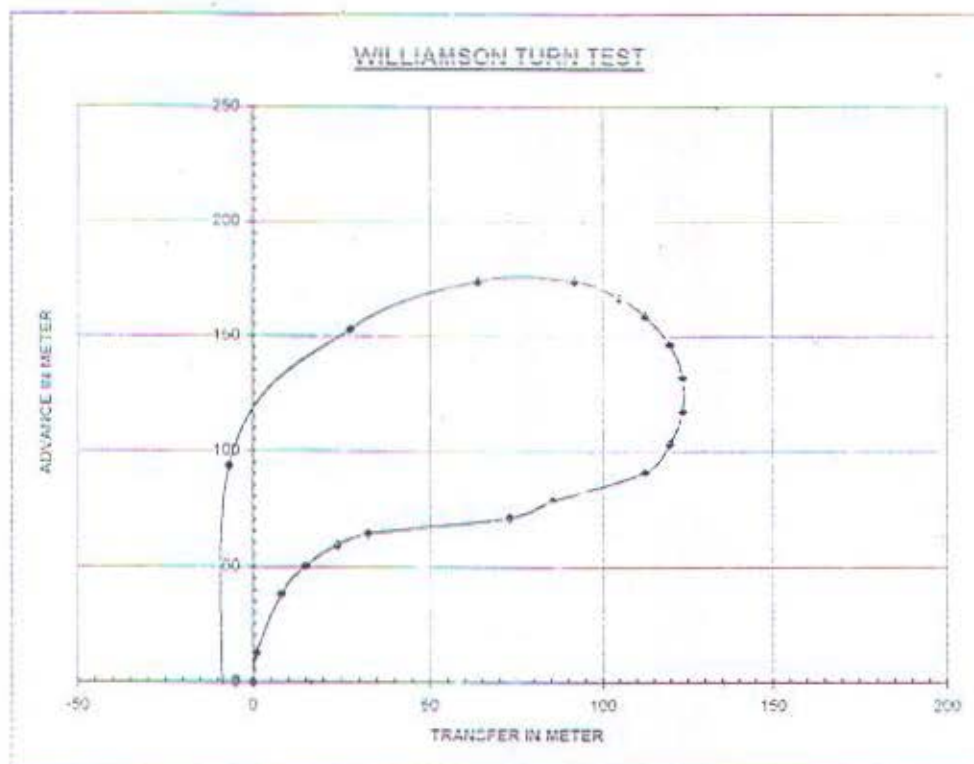
1100905

Hal:

Page:

Dari:

From:



HEADING ANGLE (DEG)	TIME FROM ORDER (SEC.)	TRANSFER (METER)	ADVANCE (METER)
0	0	0.00	0.00
5	2.8	1.07	12.20
15	8.9	3.05	36.27
30	12	14.99	50.28
45	14.8	23.90	59.19
60	17	32.48	64.14
80	26	73.06	71.30
90	29	85.49	76.48
45	37	112.55	91.21
30	40	119.73	103.64
15	43	123.48	117.05
0	46	123.48	132.31
-15	49	119.67	146.55
-30	61.9	112.51	158.95
-45	54	105.10	166.36
-60	57	91.93	173.96
-90	62.3	63.85	173.96
+120	70	27.49	152.97
+150	82	-6.78	93.63
-180	110	-6.78	-83.55

OWNER SURVEYOR:

CLASS SURVEYOR:

QA PT PAL SURVEYOR:

GENERAL PARTICULARS

TUG BOAT 2 x 1200 HP

INTACT STABILITY REPORT

SHIP'S NAME :
 OWNER :
 BUILDER : PT PAL INDONESIA
 HULL NUMBER : M000187/M000188
 DESIGNER : CONAN WU & ASSOCIATES PTE LTD
 INFORMATICS BUILDING LEVEL 3
 5 INTERNATIONAL BUSINESS PARK
 JURONG EAST, SINGAPORE 609914
 CLASS : BKI

PRINCIPAL PARTICULARS

LENGTH OVERALL : 30.00 m
 L.W.L. : 28.40 m
 L.B.P. : 28.40 m
 BEAM MID @ MIDAHP : 9.50 m
 DEPTH MLD @ MIDSHIP : 3.80 m
 DESIGNED DRAFT : 4.60 m AT MIDSHIP ABOVE BASE LINE
 AT DESIGNED DRAFT
 DISPLACEMENT : 501.47 t
 DEADWEIGHT : 126.46 t
 LIGHTSHIP WEIGHT : 375.01 t
 LCG : 0.572f
 VCG : 5.179
 TCG : 0.003s
 COMPLETE DATE :
 PORT OF REGISTRY :

NOTE : REFERENCE POINT IS MIDSHIP @ 200mm FWD OF FP, FRAME SPACING 500mm.

14.20a=AP
 (+) <-----+-----> (-)
 AFT MIDSHIP FWD

INSTRUCTIONS TO THE MASTER CONCERNING STABILITY

1. GENERAL PRECAUTIONS AGAINST CAPSIZING:

1.1 Compliance with the required minimum stability criteria does not ensure immunity against capsizing, regardless of the circumstances, or absolve the Master from his responsibilities. Masters should therefore exercise prudence and good seamanship, having regard to the season of the year, weather forecasts, the navigational zone, and should take appropriate action as to speed and course warranted by the prevailing circumstances.

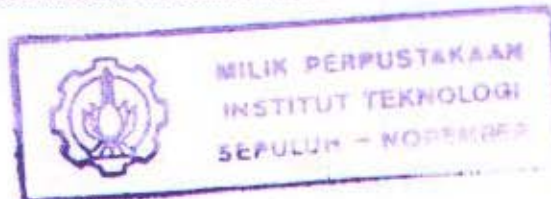
1.2 Care should be taken to ensure that cargo, allocated to the ship is capable of being stowed, so that compliance with the stability criteria can be achieved. If necessary, the amount of cargo should be limited to the extent that ballast weight may be required.

1.3 In determining the sequence of tanks from which fuel oil and fresh water is to be consumed and those into which water ballast may be admitted during the voyage the Master must ensure, prior to departure, that the required minimum stability criteria will be maintained throughout the voyage after making due allowance for free surface effect as may be appropriate.

1.4 Before a voyage commences, care should be taken to ensure that the cargo and sizeable pieces of equipment have been properly stowed and secured/ lashed, so as to minimize the possibility of both longitudinal and lateral shifting at sea, under the effect of acceleration caused by rolling and pitching.

1.5 Master should note that stability can be adversely affected by such influences as beam wind on ships with large windage area, icing on top sides and deck cargo, water trapped on deck and in deck cargo, rolling characteristics and following seas.

1.6 Weather tight doors in forecastle BHD & E.R casing to remain closed & secured at all time whilst the vessel is at sea. Access hatches on exposed decks are to remain closed at all time when the vessel is underway.



IMO'S INTACT STABILITY GUIDELINE (A.749)
(Recommended general criteria)

- 1) For every loading condition, which is to be shown in the Trim & Stability Booklet, the righting arm curve (GZ curve) should be plotted using the KG corrected for the free surface effects of liquid in tanks.
- 2) The area under the righting lever curve (GZ curve) should not be less than 0.055 metre-radians up to $\theta = 30^\circ$ angle of heel and not less than 0.09 metre-radians up to $\theta = 40^\circ$ or the angle of down flooding θ_r^* if this angle is less than 40° . Additionally, the area under the righting lever curve (GZ curve) between the angles of heel of 30° and 40° or between 30° and θ_r , if this angle is less than 40° , should not be less than 0.03 metre-radians.
- 3) The righting lever GZ should be at least 0.20 m at an angle of heel equal to or greater than 30° .
- 4) The maximum righting arm should occur at an angle of heel preferably exceeding 30° but not less than 25° .
- 5) The initial metacentric height GMO should not be less than 0.15 m.

* θ_r is an angle of heel at which openings in the hull, superstructures or deckhouses which cannot be closed weathertight immerse. In applying this criterion, small openings through which progressive flooding cannot take place need not be considered as open.

All the loading conditions reported in the trim and stability booklet, with the exception of lightship, are also to be considered in order to investigate the ship's attitude to support the effect of the towing force in the beam direction.

A tug may be considered as having sufficient stability, according to the effect of the towing force in the beam direction, if the following condition is complied with:

$$A \geq 0,011$$

where:

- A : area, in m.rad, contained between the righting lever and the heeling arm curves, measured from the heeling angle θ_C to the heeling angle θ_D .
- θ_C : heeling angle of equilibrium, corresponding to the first intersection between heeling and righting arms.
- θ_D : heeling angle, to be taken as the lesser of:
- the angle θ_M , corresponding to the position of GZ_{MAX} (see Fig 1),
 - the angle of downflooding,
 - 40° .

The heeling arm curve is to be calculated as follows:

$$b_H = \frac{TH}{9,81\Delta} \cos \theta$$

where:

b_H : heeling arm, in m,

T : maximum towing pull, in kN,

In case this force is unknown, it can be assumed equal to:

- $T = 0,179 P$ for propellers not fitted with nozzles,
- $T = 0,228 P$ for propellers fitted with nozzles,

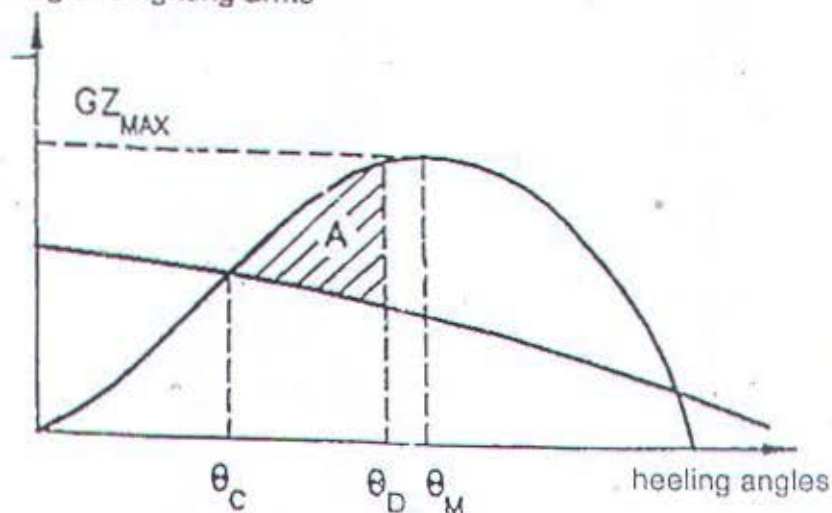
P : maximum continuous power, in kW, of the propulsion engine,

H : vertical distance, in m, between the towing hook, or equivalent fitting, and half draught corresponding

Δ : loading condition displacement, in t.

Figure 1 : Heeling and righting arms curves

heeling and righting arms



NOTE ON USE OF FREE SURFACE MOMENTS

Provided a tank is completely filled with liquid no movement of the liquid is possible and the effect on the ship's stability is precisely the same as if the tank contained solid material.

Immediately a quantity of liquid is withdrawn from the tank, the situation changes completely and the stability of the ship is adversely affected by what is known as the "Free Surface Effect".

This adverse effect on the stability is referred to as a "loss in GM" or as a "Virtual Rise in V.C.G." and is calculated as follows:

$$\begin{array}{l} \text{Loss in GM due to} \\ \text{Free Surface Effects} \end{array} = \frac{\text{Free Surface Moment (tonnes-metre)}}{\text{Displacement of Vessel in tonnes}} \quad (\text{m})$$

In case the tank is filled with a new liquid other than that it was originally meant for, the loss in GM due to Free Surface Effects:

$$= \frac{\text{Free Surface Moment (tonnes-metre)}}{\text{Displ. of Vessel in tonnes}} \times \frac{\text{specific gravity of New Liquid}}{\text{specific gravity of original liquid}}$$

NOTE :

The "Free Surface Effects" of all F.O., F.W., L.O., W.B. and service tanks with the possibility of being slack should be taken into account in both the Departure and Arrival Conditions.

EXAMPLE SHOWING USE OF CROSS-CURVES

The purpose of the Cross-Curves is to enable Statical Stability Curves to be drawn for the ship in any sailing condition, e.g. :-

Assume the displacement of the ship to be 501.55 tonnes and the vertical centre of gravity 4.812 metre above base (bottom of Keel) as in Condition No.1 (See page 16).

VCG = C.G of vessel before FSM corrected

FSC = FSM / Displ. = 75.510 / 501.550 = 0.151

Then the Righting Lever $GZ = KN - KGf \times \sin A$

Where KN = Cross Curve ordinate

KGf = Centre of gravity above keel

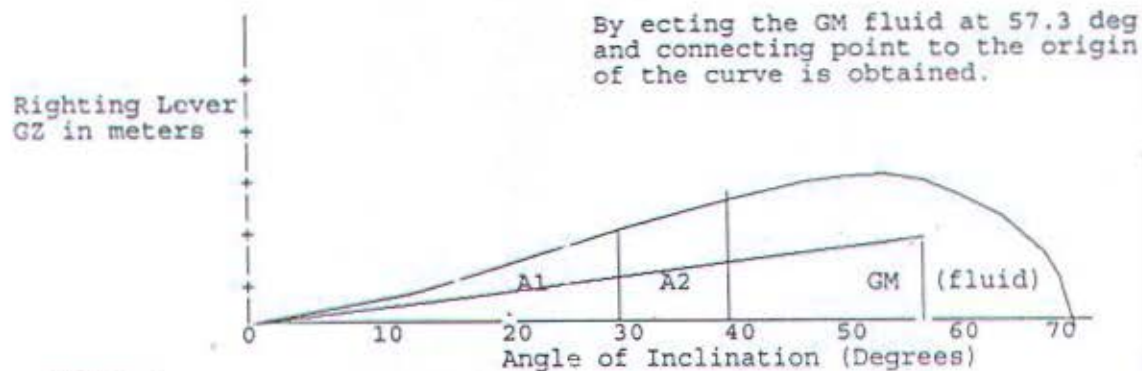
(corrected for free surface effects)

A = Angle of inclination (deg)

$KGf = VCG + FSC = 4.812 + 0.151 = 4.963$

KN	A	SIN A	KGf x SIN A	GZ=KN - KGf x SIN A
0.569	5	0.087	0.433	0.136
1.141	10	0.174	0.862	0.279
2.240	20	0.342	1.697	0.543
3.142	30	0.500	2.481	0.661
3.842	40	0.643	3.190	0.652
4.383	50	0.766	3.802	0.581
4.770	60	0.866	4.298	0.472

Then by using the GZ values in the last column a statical Stability Curve can be drawn for the ship at the assumed displacement :-



where :

A1 : Area up to 30 deg.

A2 : Area between 30 deg and 40 deg.

METRIC CONVERSIONS

Metric Equivalents

MULTIPLY BY	TO CONVERT FROM	TO OBTAIN	---
0.03937	MILLIMETRES	INCHES	25.4000
0.3937	CENTIMETRES	INCHES	2.5400
3.2808	METRES	FEET	0.3048
2.2046	KILOGRAMMES	POUNDS	0.45359
0.0009842	KILOGRAMMES	TONS (2240 lbs)	1016.047
0.9842	METRIC TONS (i.e TONNES OF 1000 KILOS)	TONS (2240 lbs)	1.016
2.4998	METRIC TONS PER CENTIMETRE (of immersion)	TONS PER INCH	0.400
8.2014	MOMENT TO CHANGE TRIM ONE CENTIMETRE (TONNE METRE UNITS)	MOMENT TO CHANGE TRIM ONE INCH (FOOT TON UNITS)	0.122
187.9767	METRE RADIANS	FEET DEGREES	0.0053
---	TO OBTAIN	TO CONVERT FROM	MULTIPLY BY ABOVE

RELATION BETWEEN WEIGHT AND VOLUME

10 m.m cubed	= 1 cubic centimetre
1 cubic centimetre of fresh water (S.G 1.0)	= 1 gramme
1000 cubic centimetre of fresh water (S.G 1.0)	= 1 kilogramme (1000 gm)
1 cubic metre of fresh water (S.G 1.0)	= 1 tonne (1000 kilos)
1 cubic metre of salt water (S.G 1.025)	= 1.025 tonnes
1 tonnes of salt water (S.G 1.025)	= 0.975 cubic metres
1 cubic metre	= 35.316 cubic feet
1 cubic foot	= 0.0283 cubic metres

SYMBOLS AND ABBREVIATION

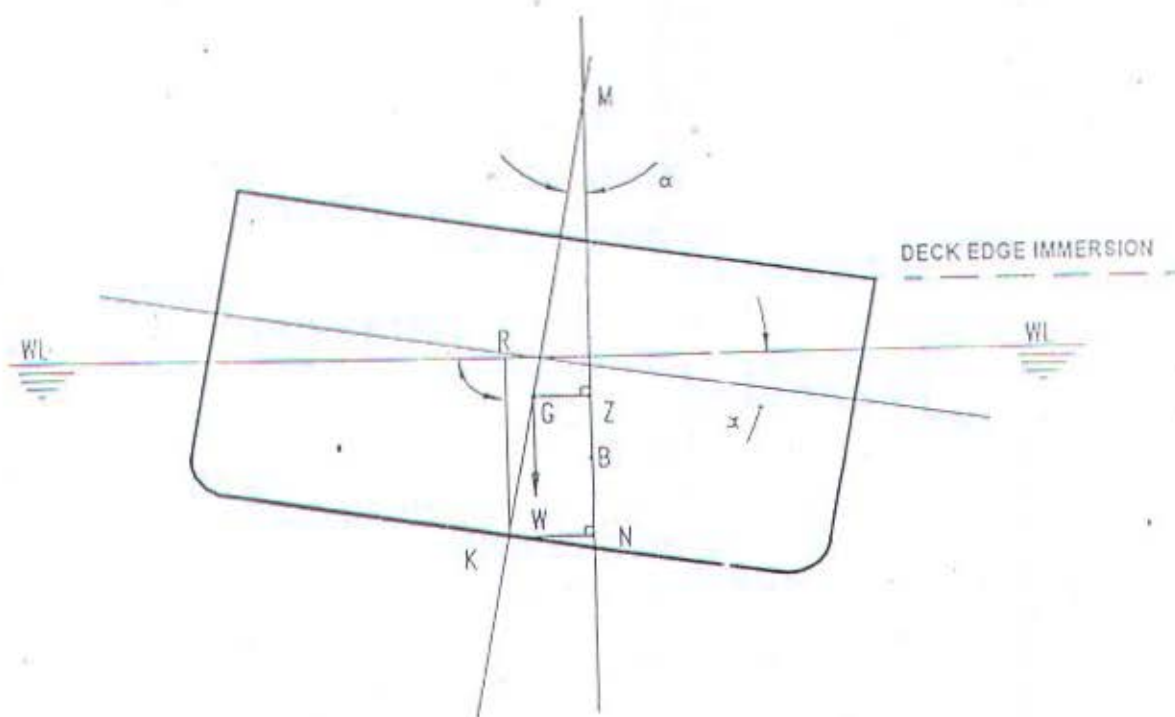
DRAFT	: DRAFT MEASURED FROM BASE LINE (m)
GZ	: UP-RIGHTING LEVER (m)
KB or VCB	: VERTICAL CENTER OF BUOYANCY FROM BASE LINE (m)
KG or VCG	: VERTICAL CENTER OF GRAVITY FROM BASE LINE (m)
LCB	: LONGITUDINAL POSITION CENTER OF GRAVITY (m)
LCF	: LONGITUDINAL POSITION CENTER OF FLOATATION (m)
KMT	: TRANSEVRSE METACENTER HEIGHT FROM BASE LINE (m)
MTC	: MOMENT TO CHANGE TRIM ONE CENTIMETER (t-m/cm)
TPC	: TONNES PER CENTIMETER IMMERSION (t/cm)
TRIM	: + DENOTES TRIM BY THE STERN - DENOTES TRIM BY THE BOW
FSN	: FREE SURFACE NUMERICAL
FW	: FRESH WATER
LO	: LUB OIL
SWB	: SEA WATER BALLAST

BASELINE DRAFT @ ORIGIN / ORIGIN DEPTH : MEAN DRAFT AT MIDSHIP

NOTE :

DENSITY OF FUEL OIL	= 0.855 tonnes/cu.m
DENSITY OF LUBE OIL	= 0.900 tonnes/cu.m
DENSITY OF DIRTY OIL & BILGE	= 0.900 tonnes/cu.m
DENSITY OF FRESH WATER	= 1.000 tonnes/cu.m
DENSITY OF SEA WATER	= 1.025 tonnes/cu.m

KN CURVE CONCEPT DIAGRAM



$$\text{RIGHTING LEVER } GZ = KN - KG \times \sin \alpha$$

DEFINITIONS:

- GZ ----- Righting lever measured from G
- KN ----- Lever measured from K
- KG ----- Centre of gravity above keel
- KR ----- Water line radius
- α ----- Angle of heel
- B ----- Centre of buoyancy
- K ----- Keel
- M ----- Metacenter

JOB NO : C3483
 VESSEL : TUG BOAT 2 x 1200 HP
 HULL NO: M000177/M000178

SUMMARY TABLE

CONDITION No.	0				MIN IMO. REQ.
LIGHTSHIP (t)	375.01				
DEADWEIGHT (t)	0.00				
DISPLACEMENT (t)	375.01				
DRAFT @ MIDSHIP (m)	4.044				
DRAFT @ FP (m)	4.489				
DRAFT @ AP (m)	3.600				
LCF from MIDSHIP (m)	0.456f				
LCG from MIDSHIP (m)	0.572f				
LCB from MIDSHIP (m)	0.636f				
TRIM (m)	0.899F				
HEEL (deg)	0.12S				
KG (m)	5.179				
FREE SURFACE CORR. (m)					
CORR. KG (m)	5.179				
CORR. GM (m)	1.889				
AREA UP TO 30 Deg m-rad	0.2539				> 0.0550
AREA UP TO 40 Deg m-rad	0.3941				> 0.0900
AREA 30 TO 40 Deg m-rad	0.1402				> 0.0300
GZ @ 30 deg (m)	0.831				> 0.200
MAX GZ occur @ (deg)	30.00				> 25.00

NOTE:

- 1) AFT OF MIDSHIP : a , FWD OF MIDSHIP : f
 2) TRIM BY BOW : F , TRIM BY AFT : A
 3) HEEL TO STBD : S , HEEL TO PORT : P

JOB NO : C3483
 VESSEL : TUG BOAT 2 x 1200 HP
 HULL NO: M000177/M000178

SUMMARY TABLE

CONDITION No.	1	2	3	4	MIN IMO. REQ.
LIGHTSHIP (t)	375.01	375.01	375.01	375.01	
DEADWEIGHT (t)	126.55	48.28	126.55	48.28	
CREW & EFFECT (t)	1.20	1.20	1.20	1.20	
PROVISION & STORE (t)	0.50	0.05	0.50	0.05	
SHIP STORE (t)	10.00	10.00	10.00	10.00	
FRESH WATER (t)	37.90	3.80	37.90	3.80	
FUEL OIL (t)	57.63	10.09	57.63	10.09	
LUBE OIL (t)	9.63	9.63	9.63	9.63	
DIRTYOIL (t)	0.43	4.21	0.43	4.21	
FOAM (t)	9.28	9.28	9.28	9.28	
SALT WATER (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	
DISPLACEMENT (t)	501.56	423.29	501.56	423.29	
DRAFT @ MIDSHIP (m)	4.600	4.264	4.600	4.264	
DRAFT @ FP (m)	4.600	4.385	4.600	4.385	
DRAFT @ AP (m)	4.600	4.142	4.600	4.142	
LCF from MIDSHIP (m)	0.024f	0.162f	0.024f	0.162f	
LCG from MIDSHIP (m)	0.182a	0.004a	0.182a	0.004a	
LCB from MIDSHIP (m)	0.182a	0.009f	0.182a	0.009f	
TRIM (m)	0.0	0.242F	0.0	0.242F	
HEEL (deg)	0.10S	0.11S	10.340S	11.591S	
HEELING MOMENT (M-MT)			150.60	157.96	
KG (m)	4.812	4.981	4.812		
FREE SURFACE CORR. (m)	0.151	0.061	0.151		
CORR. KG (m)	4.963	5.043	4.963		
CORR. GM (m)	1.555	1.754	1.555		
AREA UP TO 30 Deg m-rad	0.2043	0.2396			> 0.0550
AREA UP TO 40 Deg m-rad	0.3197	0.3745			> 0.0900
AREA 30 TO 40 Deg m-rad	0.1154	0.1349			> 0.0300
GZ @ 30 deg (m)	0.658	0.788			> 0.200
MAX GZ occur @ (deg)	33.69	31.10			> 25.00
AREA EQ. TO 40 Deg m-rad			0.2267	0.2540	> 0.0110

NOTE:

- 1) AFT OF MIDSHIP : a , FWD OF MIDSHIP : f
 2) TRIM BY BOW : F , TRIM BY AFT : A
 3) HEEL TO STBD : S , HEEL TO PORT : P

CONDITION No.0 : LIGHTSHIP CONDITION

WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS

Baseline draft: 4.044 @ Origin, Trim: Fwd 0.889/28.400, Heel: Stbd 0.12 deg.

Part-----	Weight (MT)----	LCG-----	TCG-----	VCG-----	FSM-----
WEIGHT	375.01	0.572f	0.003s	5.179	
Load-----	SpGr				
Total Tanks----->	0.00				0.00

	Displ (MT)----	LCB-----	TCB-----	VCB-----
HULL	375.07	0.636f	0.007s	3.147

Righting Arms:	0.000	0.000
Distances in METERS.-----	Moments in M.-M	

SUMMARY OF LOADING

0.0 Cu.M. (0%) FRESH WATER	0.0 Cu.M. (0%) FUEL OIL
0.0 Cu.M. (0%) LUBE OIL	0.0 Cu.M. (0%) DIRTY OIL
0.0 Cu.M. (0%) FOAM	0.0 Cu.M. (0%) SALT WATER

HYDROSTATIC PROPERTIES

Trim: Fwd 0.889/28.400, Heel: Stbd 0.12 deg., VCG = 5.179

LCF	Displacement	Buoyancy-Ctr.	Weight/	Moment/
Draft-----	Weight (MT)----	LCB-----	VCB-----	CM-----
4.059	375.07	0.636f	3.147	2.25
Distances in METERS.-----	Specific Gravity = 1.025.			LCF-----
				CM trim-----
				GML-----
				1.8

Trim is per 28.40M

Draft is from Baseline.

DRAFT STATUS

DRAFT @ FP & AP

Baseline draft: 4.489 @ 14.20f, 3.600 @ 14.20a

DRAFT @ MIDSHIP

Baseline draft: 4.044 @ Origin

Note : Reference point is at Midship at 200mm FWD of Fr.28 on Baseline.
LBP = 28.4M

CONDITION No.0 : LIGHTSHIP CONDITION

RIGHTING ARMS vs HEEL ANGLE

LCG = 0.572f TCG = 0.003s VCG = 5.179

Origin	Degrees of		Displacement	Righting Arms		Flood Pt	
Depth	Trim	Heel	Weight (MT)	in Trim	in Heel	Area	Height
4.042	1.79f	0.12s	375.07	0.000	0.000	0.0000	3.366(1)
4.024	1.79f	5.12s	375.02	0.000	0.166s	0.0072	3.234(1)
3.969	1.80f	10.12s	375.02	0.000	0.334s	0.0290	3.080(1)
3.877	1.80f	15.12s	375.01	0.000	0.509s	0.0657	2.908(1)
3.741	1.80f	20.12s	375.08	0.002f	0.678s	0.1175	2.727(1)
3.561	1.76f	25.12s	374.97	0.000	0.796s	0.1822	2.545(1)
3.345	1.70f	30.12s	374.99	0.000	0.831s	0.2539	2.352(1)
3.286	1.69f	31.37s	375.06	0.000	0.829s	0.2720	2.302(1)
3.096	1.63f	35.12s	374.93	0.000	0.809s	0.3257	2.150(1)
2.815	1.53f	40.12s	374.98	0.000	0.750s	0.3941	1.942(1)
2.502	1.39f	45.12s	375.01	0.000	0.671s	0.4562	1.733(1)
2.160	1.23f	50.12s	375.01	0.000	0.578s	0.5108	1.523(1)
1.789	1.04f	55.12s	375.01	0.000	0.480s	0.5569	1.316(1)
1.391	0.82f	60.12s	375.01	0.000	0.389s	0.5948	1.117(1)
0.974	0.58f	65.12s	375.09	0.000	0.301s	0.6249	0.920(1)
0.550	0.29f	70.12s	375.01	0.000	0.199s	0.6468	0.721(1)
0.125	0.07a	75.12s	375.05	0.000	0.087s	0.6593	0.523(1)
-0.181	0.31a	78.67s	375.01	0.002f	0.000s	0.6620	0.381(1)
-0.307	0.40a	80.12s	375.09	0.000	-0.039s	0.6616	0.322(1)
-0.744	0.67a	85.12s	374.99	0.000	-0.178s	0.6522	0.120(1)
-1.003	0.84a	88.10s	374.95	0.000	-0.262s	0.6407	-0.000(1)

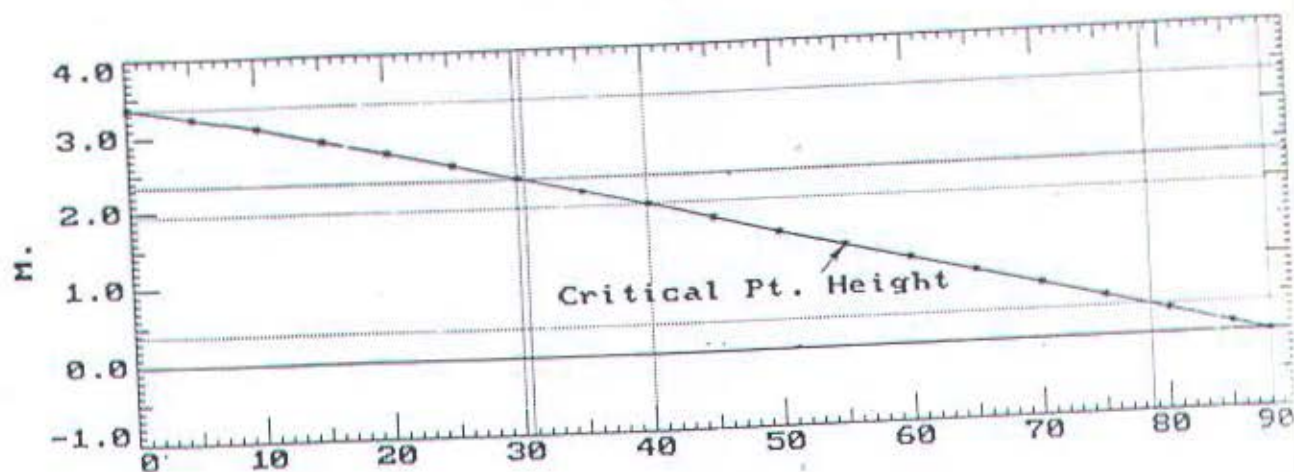
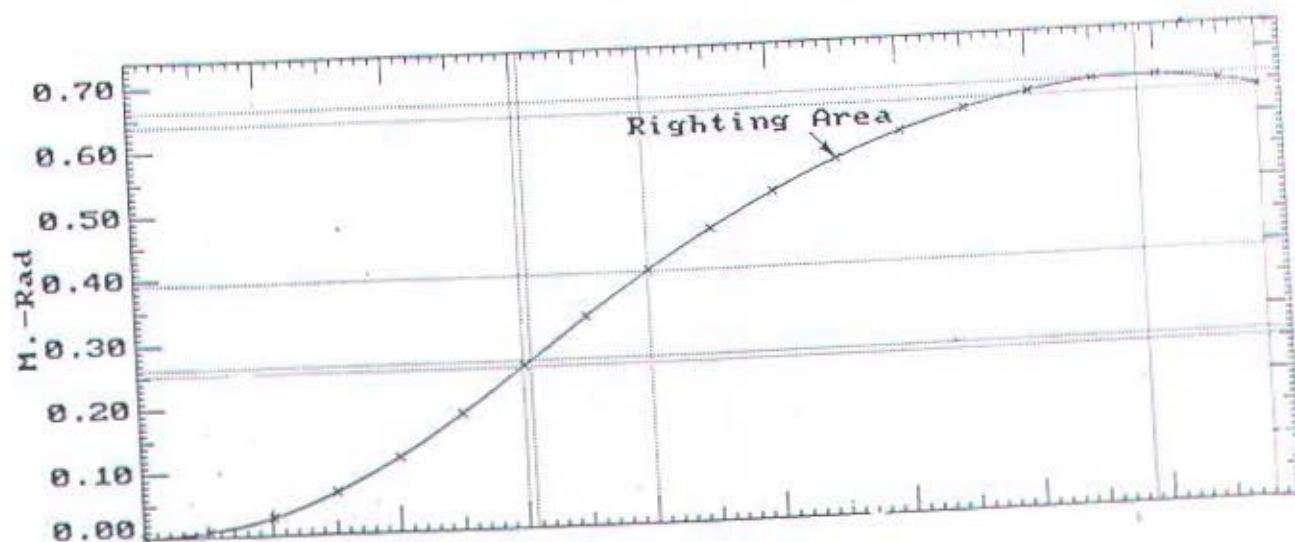
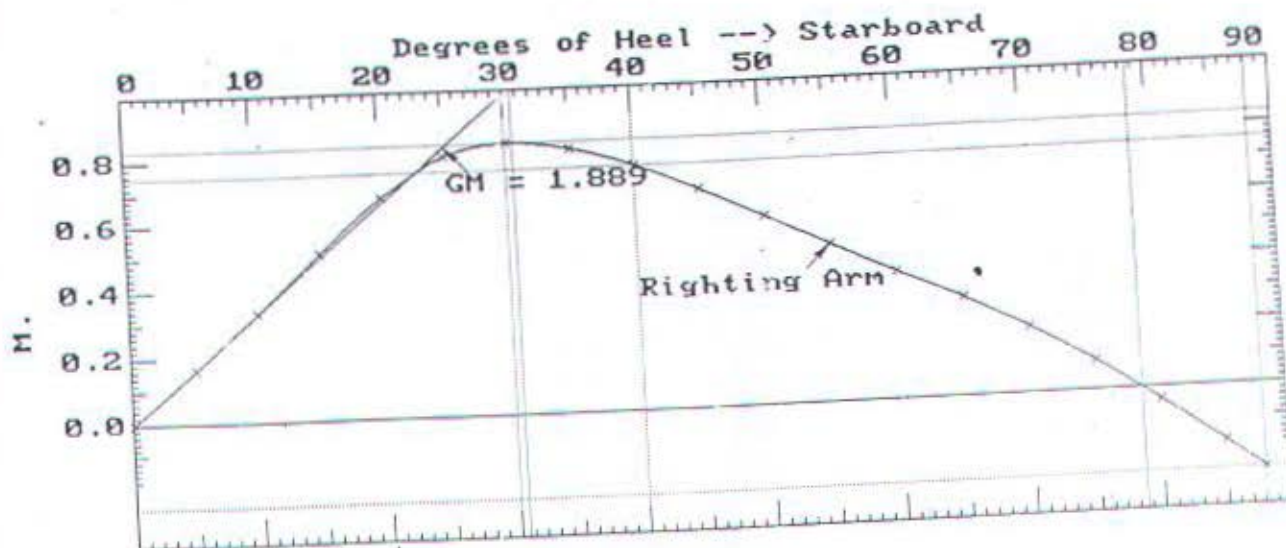
Distances in METERS.----Specific Gravity = 1.025.-----Area in M.-Rad.

Note: The Weight and Center of Gravity used for the righting arms above include tank loads. However, the tank load centers were NOT ALLOWED TO SHIFT with heel and trim changes.

Critical Points-----LCP-----TCP-----VCP
(1) E/R SUPPLY FAN(P/S) FLOOD 8.300f 1.380 7.675

LIM-----IMO'S A749 STABILITY CRITERION-----Min/Max-----Attained
(1) Area from 0 deg to 30 > 0.0550 M.-Rad 0.2539 P
(2) Area from 0 deg to 40 or Flood > 0.0900 M.-Rad 0.3941 P
(3) Area from 30 deg to 40 or Flood > 0.0300 M.-Rad 0.1402 P
(4) Righting Arm at 30 deg > 0.200 M. 0.831 P
(5) Angle from 0 deg to MaxRA > 25.00 deg 30.00 P
(6) GM at Equilibrium > 0.150 M. 1.889 P
-----Relative angles measured from 0.116 -----

CONDITION No.0 : LIGHTSHIP CONDITION



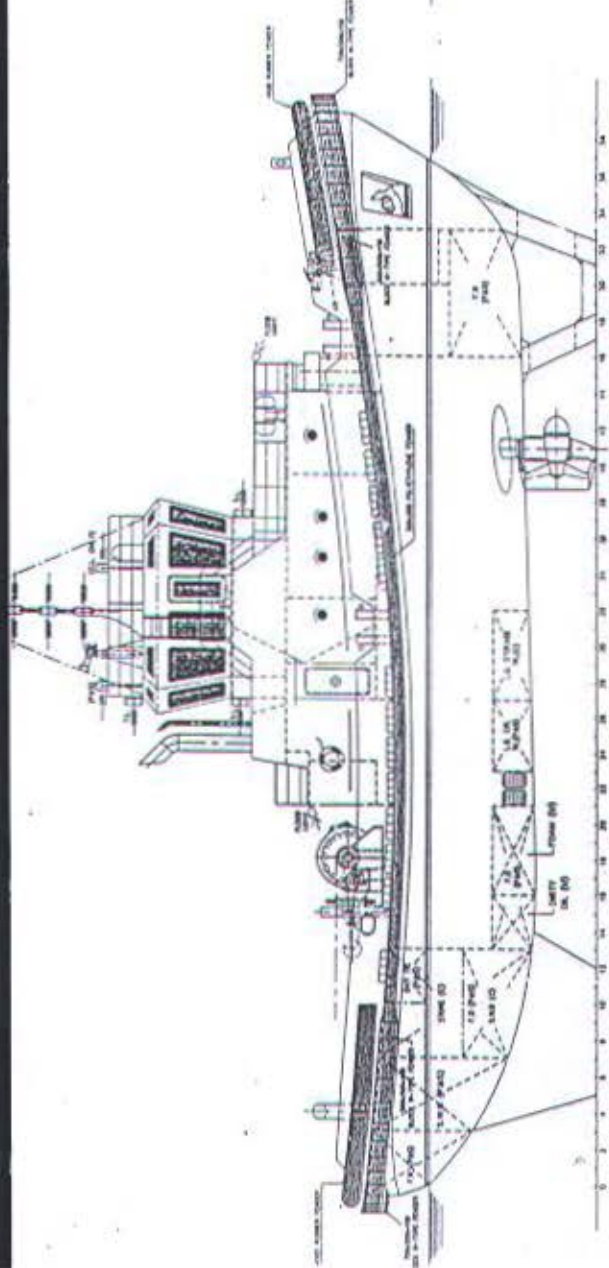
THIS TABLE SHOWS EXTREME HDROSTATICS PROPERTIES

HYDROSTATIC PROPERTIES
No Trim, No Heel, VCG = 5.179

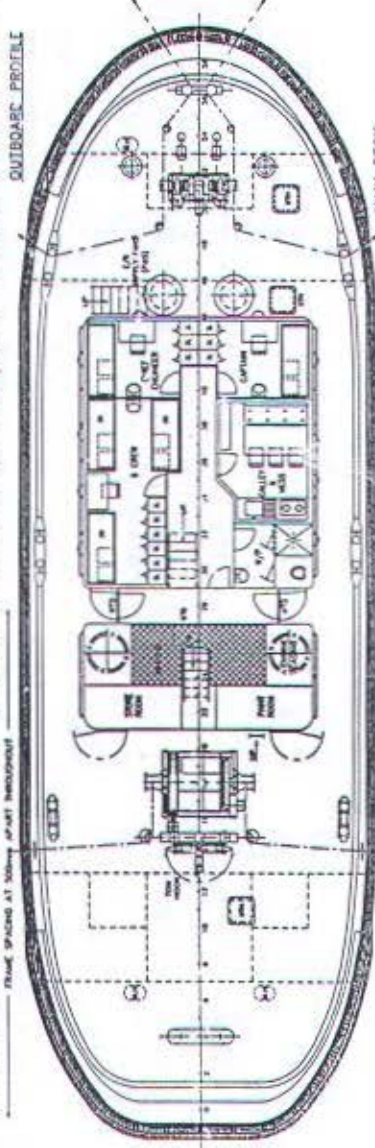
LCF	Displacement	Buoyancy-Ctr.		Weight/	Moment/			
Draft	Weight (MT)	LCB	VCB	CM	LCF	CM trim	KML	KMT
3.700	294.87	0.362a	2.935	2.18	0.146f	3.21	36.14	7.773
3.720	299.24	0.354a	2.947	2.19	0.145f	3.23	35.86	7.724
3.740	303.62	0.347a	2.958	2.19	0.144f	3.25	35.59	7.675
3.760	308.01	0.340a	2.969	2.19	0.143f	3.27	35.33	7.628
3.780	312.41	0.334a	2.980	2.20	0.140f	3.29	35.06	7.582
3.800	316.81	0.327a	2.992	2.20	0.139f	3.30	34.80	7.538
3.820	321.22	0.321a	3.003	2.21	0.137f	3.32	34.55	7.495
3.840	325.64	0.314a	3.014	2.21	0.135f	3.34	34.30	7.453
3.860	330.07	0.308a	3.025	2.21	0.133f	3.36	34.05	7.412
3.880	334.51	0.302a	3.037	2.22	0.130f	3.37	33.82	7.373
3.900	338.95	0.297a	3.048	2.22	0.128f	3.39	33.59	7.335
3.920	343.40	0.291a	3.059	2.23	0.125f	3.41	33.37	7.298
3.940	347.86	0.286a	3.070	2.23	0.122f	3.42	33.14	7.261
3.960	352.33	0.280a	3.081	2.23	0.120f	3.44	32.92	7.226
3.980	356.81	0.275a	3.093	2.24	0.117f	3.46	32.70	7.192
4.000	361.29	0.270a	3.104	2.24	0.115f	3.47	32.49	7.159
4.020	365.78	0.266a	3.115	2.25	0.112f	3.49	32.28	7.127
4.040	370.27	0.261a	3.126	2.25	0.108f	3.51	32.08	7.095
4.060	374.77	0.257a	3.137	2.25	0.104f	3.52	31.88	7.065
4.080	379.28	0.253a	3.148	2.26	0.101f	3.54	31.69	7.036
4.100	383.80	0.249a	3.159	2.26	0.097f	3.56	31.50	7.007
4.120	388.33	0.245a	3.170	2.26	0.092f	3.57	31.32	6.979
4.140	392.86	0.241a	3.181	2.27	0.088f	3.59	31.14	6.952
4.160	397.40	0.237a	3.193	2.27	0.083f	3.61	30.96	6.926
4.180	401.95	0.234a	3.204	2.27	0.079f	3.62	30.79	6.901
4.200	406.50	0.230a	3.215	2.28	0.079f	3.64	30.59	6.876
4.220	411.06	0.227a	3.226	2.28	0.074f	3.65	30.42	6.852
4.240	415.62	0.224a	3.237	2.28	0.070f	3.67	30.25	6.829
4.260	420.19	0.220a	3.248	2.29	0.066f	3.69	30.09	6.807
4.280	424.77	0.217a	3.259	2.29	0.061f	3.70	29.93	6.785
4.300	429.36	0.214a	3.270	2.29	0.057f	3.72	29.78	6.764
4.320	433.95	0.211a	3.281	2.30	0.051f	3.74	29.63	6.744
4.340	438.55	0.209a	3.292	2.30	0.046f	3.75	29.48	6.724
4.360	443.16	0.206a	3.303	2.30	0.041f	3.77	29.33	6.705
4.380	447.77	0.204a	3.314	2.31	0.036f	3.79	29.19	6.687
4.400	452.39	0.201a	3.325	2.31	0.031f	3.80	29.05	6.669
4.420	457.02	0.199a	3.336	2.32	0.026f	3.82	28.91	6.651
4.440	461.66	0.197a	3.347	2.32	0.020f	3.84	28.78	6.634
4.460	466.30	0.194a	3.358	2.32	0.015f	3.85	28.65	6.618
4.480	470.95	0.192a	3.369	2.33	0.009f	3.87	28.52	6.602
4.500	475.61	0.191a	3.380	2.33	0.003f	3.89	28.40	6.587
4.520	480.28	0.189a	3.391	2.33	0.002a	3.91	28.28	6.573
4.540	484.95	0.187a	3.402	2.34	0.008a	3.93	28.17	6.558
4.560	489.63	0.185a	3.413	2.34	0.014a	3.94	28.05	6.545
4.580	494.32	0.184a	3.424	2.34	0.020a	3.96	27.94	6.531
4.600	499.02	0.182a	3.435	2.35	0.023a	3.98	27.82	6.518
4.620	503.72	0.181a	3.446	2.35	0.028a	4.00	27.71	6.506

DEADWEIGHT SCALE

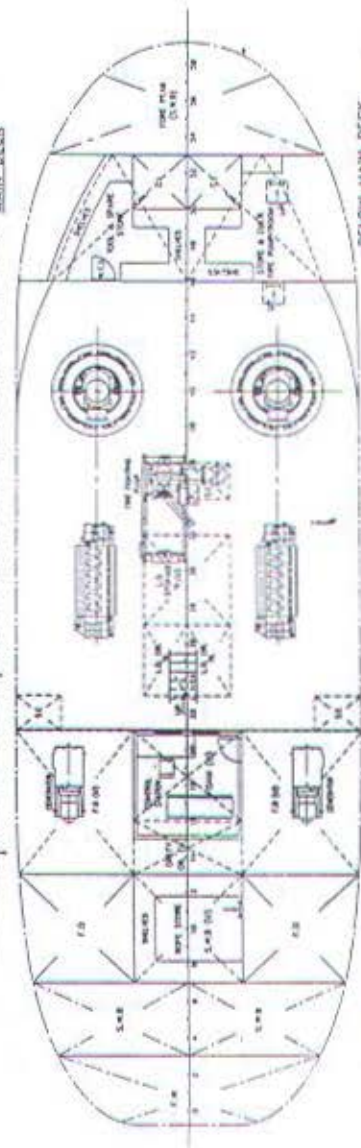
	DRAFT	DISPL	DeadWT	TPC	MCT
	-----	-----	-----	---	---
Light Ship	4.061	375.01	0.00	2.25	3.52
	4.100	383.80	8.79	2.26	3.56
	4.120	388.33	13.32	2.26	3.57
	4.140	392.86	17.85	2.27	3.59
	4.160	397.40	22.39	2.27	3.61
	4.180	401.95	26.94	2.27	3.62
	4.200	406.50	31.49	2.28	3.64
	4.220	411.06	36.05	2.28	3.65
	4.240	415.62	40.61	2.28	3.67
	4.260	420.19	45.18	2.29	3.69
	4.280	424.77	49.76	2.29	3.70
	4.300	429.36	54.35	2.29	3.72
	4.320	433.95	58.94	2.30	3.74
	4.340	438.55	63.54	2.30	3.75
	4.360	443.16	68.15	2.30	3.77
	4.380	447.77	72.76	2.31	3.79
	4.400	452.39	77.38	2.31	3.80
	4.420	457.02	82.01	2.32	3.82
	4.440	461.66	86.65	2.32	3.84
	4.460	466.30	91.29	2.32	3.85
	4.480	470.95	95.94	2.33	3.87
	4.500	475.61	100.60	2.33	3.89
	4.520	480.28	105.27	2.33	3.91
	4.540	484.95	109.94	2.34	3.93
	4.560	489.63	114.62	2.34	3.94
	4.580	494.32	119.31	2.34	3.96
	4.600	499.02	124.01	2.35	3.98
Summer Load	4.600	499.02	124.01	2.35	3.98
Draft	4.620	503.72	128.71	2.35	4.00



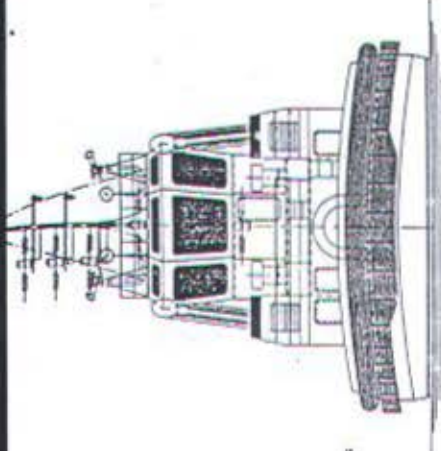
OUTBOARD PROFILE



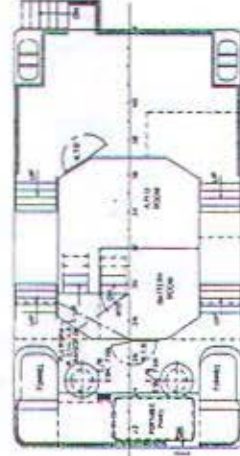
MAIN DECK



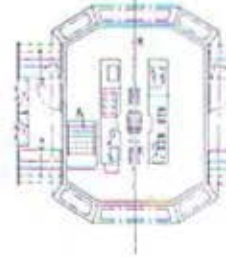
BELOW MAIN DECK



STERN VIEW



BRIDGE DECK



WHEELHOUSE DECK

PRINCIPAL PARTICULARS

LENGTH O.A.	30.00m
LENGTH M.L.	28.40m
BEAM M.L.	8.50m
DEPTH M.L.	3.80m
DRAFT DESIGNED	4.60m
COAST GUARD	12 knots
TANKS CAPACITY (APPROX.)	
FUEL OIL	50m ³
FRESH WATER	25m ³
FOAM	8m ³
L.O.	5m ³

TUG BOAT 2 X 1200 HP

GENERAL ARRANGEMENT

CONAN WU & ASSOCIATES

DESIGNED BY	CONAN WU & ASSOCIATES
DATE	1975
SCALE	1:75
PROJECT NO.	C-3483/1-1

ACARA PERCOBAAN PELAYARAN RESMI

OFFICIAL SEA TRIAL PROGRAM



TUG BOAT 2400 HP

“ JAYAKARTA 4 ”

(M.000196)

PT. PAL INDONESIA (PERSERO)

QUALITY ASSURANCE

OWNER	CLASS	MANPRO TUG BOAT	MAN. SHIPBUILDING - QA
		 Ir. SISWOHADI	 Ir. HERU PUDJOWANTORO

DAFTAR ISI

NO	INDEX	PAGE
	DAFTAR ISI	1
I.	UMUM	2
II.	PRINSIPAL PARTICULAR	3
III.	TABLE ITEM-ITEM SEA TRIAL YANG DILAKSANAKAN	4
IV.	PETUNJUK OPERASI & METHODE PENGUKURAN	5
	1. PROGRESSIVE SPEED TRIAL	6
	2. ASTERN / REVERSING TRIAL	7
	3. ENDURANCE & FUEL CONSUMPTION MEASUREMENT	7
	4. HULL VIBRATION TEST	8
	5. CRASH STOP ASTERN & AHEAD TEST	8
	6. MAIN ENGINE STARTING TEST	9
	7. TURNING CIRCLE TEST	9
	8. WILLIAMSON TURN TEST	9
	9. ZIG-ZAG MANEUVER TEST	10
	10. ANCHOR LOWERING & HOISTING TEST	11
	11. MINIMUM REVOLUTION TRIAL	11
	12. CRANK SHAFT DEFLECTION	12
	13. TORSIONAL VIBRATION	12
	14. OVERHAUL 1 (ONE) CYLINDER	12
V.	PROGRAM & SCHEDULE OF SEA TRIAL	13
* Noise LEVEL		

OFFICIAL SEA TRIAL PROGRAM
TUG BOAT 2400 HP "JALAN SARTIKA 4" (M. 1001/11)

I. U M U M

a. Referensi :

- Spec Tekhnis
- Aturan Klas
- Aturan Kesyahbandaran

b. Tujuan :

Untuk melaksanakan program percobaan resmi sesuai dengan kontrak dan spek teknis.

c. Waktu Pelaksanaan :

Waktu pelaksanaan tercantum dalam "Schedule of Official Sea Trial" (terlampir)

d. Tempat Pelaksanaan :

Tempat pelaksanaan di Selat Madura dan Laut Jawa, Indonesia.

e. Struktur dan Tugas Team Percobaan ~~Pelaksanaan~~ Resmi

Team Official Sea Trial terdiri dari koordinator resmi, komandan kapal, pengetesan, operator peralatan & pelaksana pengetesan dengan tugas masing-masing

Koordinator Sea Trial.

Mengkoordinasikan seluruh kegiatan sea trial antara Team Sea Trial dengan pihak yang berkepentingan (Owner dan Klasifikasi Kesyahbandaran)

Komandan Kapal

Mengatur semua olah gerak kapal serta tata tertib personil yang ada di kapal selama dalam acara pengetesan dan memberi petunjuk dalam sea trial

Pimpinan Pengetesan.

Mengatur item-item pengetesan dan pelaksanaannya dengan pihak-pihak berkepentingan (Owner dan Klasifikasi, Kesyahbandaran).

Operator peralatan.

Mengoperasikan dan menjaga peralatan selama percobaan dan pengetesan

Pelaksana Pengetesan

Melaksanakan pengetesan dan percobaan dengan peralatan

II. PRINCIPAL PARTICULAR

Pemilik : PT. PELINDO II

Jenis : TUG BOAT

Class : BKI

Length (O.A) : 30.00 m

Length (P.P) : 28.40 m

Breadth (mld) : 9.50 m

Draught : 4.60 m

Crew : 8 Persons

QUANTITY M/E : 2 Units

SERVICE SPEED : 12 Knots

PROPELLER : SCHOTTLE 4 BLADES

III. TABEL ITEM - ITEM SEA TRIAL YANG DILAKSANAKAN.

NO	TRIAL ITEMS	CONDITION		REMARKS	
		BALL	FULL		
1.	Progressive Speed Trial	50% of MCR	X	0	Each Double Runs
		70% of MCR	X	0	
		85% of MCR	X	0	
		100% of MCR	X	0	
2.	Astern / Reversing Trial		X	0	5 Minutes at – 852 Rpm
3.	Endurance Test And Fuel Consumption		X	0	Endurance 3 Hours 85% MCR (NSR) → 2 jam 100% MCR → 1 jam
4.	Hull Vibration		X	0	Condition at NSR
5.	Crash Stop Astern and Ahead Test		X	0	Full Ahead → Full Astern Full Astern → Full Ahead
6.	Main Engine Starting Test		X	0	M/E Cool Condition
7.	Turning Circle Test		X	0	NSR Both Side 360 Deg
8.	Williamson Turn Test		X	0	
9.	Zig-zag Manoeuvre Test		X	0	NSR Rudder Move 20 Deg
10.	Anchor Lowering & Hoisting Test		X	0	3 Segel
11.	Minimum Revolution Test		X	0	Dead Slow Speed
12.	Crank Shaft Deflection		X	0	Warm Condition
13.	Torsional Vibration		X	0	
14.	Overhaul 1 Cylinder		X	0	
Note 0 = Dilaksanakan.					
X = Tidak dilaksanakan					

IV. PETUNJUK OPERASI DAN METODE PENGUKURAN

A Umum

1. SeaTrial dan pengetesan direncanakan sesuai dengan spesifikasi dan kontrak.
2. Memperhatikan sarat dan kondisi kapal untuk pelaksanaan sea trial.
3. Sarat dan displacement untuk kondisi sea trial diperiksa sebelum dan sesudah percobaan.
4. Sebelum official sea trial, telah dilaksanakan commissioning untuk peralatan-peralatan : Radio Communication, Magnetic Compass, Echo Sounder with GPS, Radar, VHF Radio.

B Petunjuk operasi dan metode pengukuran tiap percobaan dan pengetesan

1. PROGRESSIVE SPEED TRIAL.
2. ASTERN / REVERSING TEST
3. ENDURANCE TEST & FUEL OIL MEASUREMENT.
4. HULL VIBRATION TEST
5. CRASH STOP ASTERN AND AHEAD TEST.
6. MAIN ENGINE STARTING TEST
7. TURNING CIRCLE TEST
8. WILLIAMSON TURN TEST
9. ZIG-ZAG MANEUVER TEST
10. ANCHOR LOWERING AND HOISTING TEST.
11. MINIMUM REVOLUTION TEST.
12. CRANK SHAFT DEFLECTION
13. TORSIONAL VIBRATION
14. OVERHAUL 1 CYLINDER

1. PROGRESSIVE SPEED TEST.

a. Tujuan : Untuk mengetahui kecepatan kapal pada beberapa kondisi kekuatan mesin

b. Operasi.

Progressive Speed Trial akan dilaksanakan sesuai dengan ketentuan nilai kecepatan, RPM dan Bhp untuk 4 (empat) macam keadaan dimana tiap macam dua kali jalan yaitu pada 50% MCR, 70 % MCR, NSR dan MCR range mesin yang diijinkan.

Dalam arah perjalanan ini, Kapal ditentukan pada base pengukuran sampai mencapai tempat akhir pengukuran. Pengukuran kecepatan dilaksanakan dengan memakai "GPS".

c. Basic Pengukuran.

Tempat : Alur Barat Surabaya

Interval Pengukuran : 1.3 Sea Mile

d. Power Grade (See Shop Test as Reference)

50 % MCR	: 442 kW	714 RPM
70 % MCR	: 618 kW	810 RPM
85 % MCR (CSR)	: 751 kW	852 RPM
100 % MCR	: 883 kW	900 RPM

e. Pengukuran

1. Kecepatan kapal untuk tiap jalan pada base pengukuran.
2. Kecepatan angin dan arah tiap jalan.
3. Waktu di dalam perjalanan
4. Kedalaman air dari Echo Sounder
5. Putaran Mesin
6. Temperatur dan tekanan dsb yang ditunjukkan oleh Mesin Utama (M/E)

2. ASTERN / REVERSING TEST.

- a. Tujuan : Untuk mengetahui perubahan kelurusan arah kapal saat gerakan mundur.
- b. Operasi
 - 1. Kapal dijalankan mundur selama 5 menit pada kondisi 85% MCR (NSR)
 - 2. Saat mundur schottle dipertahankan pada kondisi center.
- c. Pengukuran
 - 1. Perubahan haluan kapal diukur setiap 2 menit
 - 2. Kecepatan kapal dilihat dari GPS
 - 3. Jarak tempuh diukur dengan menggunakan Radar

3. ENDURANCE TRIAL & FUEL CONSUMPTION MEASUREMENT.

- a. Tujuan : Untuk mengetahui karakteristik mesin dan konsumsi pemakaian bahan bakar.
- b. Operasi.

Endurance trial dilaksanakan selama 3 jam (2 jam NSR & 1 jam MCR) untuk mengetahui karakteristik mesin. Selama endurance, dilaksanakan juga pengukuran pemakaian bahan bakar mesin utama untuk referensi.

- c. Pengukuran
 - 1. Tekanan yang bekerja pada mesin
 - 2. Temperatur pada mesin
 - 3. Putaran mesin
 - 4. Fuel Consumption by flow meter.
 - 5. Other necessary data.

Catatan : Selama percobaan Endurance, dilaksanakan juga pengukuran Noise Level pada ruang-ruangan dan pengukuran Full Vibration yang tersisa

4. HULL VIBRATION

- a. Tujuan : Untuk mengetahui besarnya getaran dari mesin yang diterima oleh badan kapal.
- b. Operasi.

Hull Vibration

- ~ Putaran mesin ditentukan sesuai dengan kebutuhan.
- ~ Vibration meter diukurkan pada tempat - tempat yang telah ditentukan (deck, badan kapal, akomodasi) dan pada tempat yang dianggap perlu dan kesemuanya diukur pada kondisi NSR dan MCR.

Torsional Vibration

- c. Pengukuran.
 1. Putaran mesin
 2. Besarnya vibrasi

5. CRASH STOP ASTERN AND AHEAD TEST.

- a. Tujuan : Untuk mengetahui jarak tempuh pemberhentian balik.
- b. Operasi.
 1. Perjalanan balik ke belakang.

Ketika kapal melaju lurus pada kondisi MCR atau 852 Rpm (85%), arah putaran schottle dibalik ke Full Astern – 852 Rpm (85%). Kemudian kapal dikemudikan sampai mencapai kecepatan konstan.
 2. Perjalanan balik ke depan.

Selama kapal bergerak konstan pada Full Astern atau 852 Rpm (85%), arah putaran schottle dibalik ke Full Ahead atau 852 Rpm (85%). Kemudian kapal dijalankan sampai mencapai putaran konstan

Catatan : Selama pengetesan, schottle dijaga pada kedudukan center.

c. Pengukuran.

1. Waktu pelaksanaan pengetesan
2. Kecepatan kapal, Putaran mesin, arah haluan kapal pada tiap perintah pengetesan.
3. Waktu yang diperlukan dari mulai perintah sampai kondisi Normal Astern / ahead.
4. Kecepatan dan arah angin saat mulai perintah
5. Kedalaman air dilihat dari peta / Echo sounder.

6. MAIN ENGINE STARTING TEST.

- a. Tujuan : Untuk mengetahui kemampuan tabung air vessel (air reservoir)
- b. Operasi.

Pengetesan dilaksanakan mulai dari air vessel full (air reservoir) s/d minimum sampai tidak bisa menghidupkan mesin.

- c. Pengukuran
 - ~ Banyaknya pengoperasian / start mesin

7. TURNING CIRCLE TEST.

- a. Tujuan : Untuk mengetahui diameter minimum putaran kapal.
- b. Operasi.

Pengetesan dilaksanakan dengan Engine pada beban 85% MCR pada 852 RPM dengan memutar arah kedua propeller posisi 45° ke kiri dan ke kanan sampai dicapai satu lingkaran penuh.

- c. Pengukuran.
 - ~ Dilakukan pencatatan arah haluan tiap 10 detik.

8. WILLIAMSON TURN TEST

- a. Purpose : Untuk mengetahui karakteristik kapal pada saat melingkar dengan berbalik arah

b. Operasi

Kapel melaju ke depan pada kondisi NSR, kemudi diputar 35 derajat ke arah starboard dan dipertahankan sampai haluan kapal berubah 60 derajat dari arah semula, kemudian segera putar kemudi 35 derajat ke arah portside. Bila haluan kapal telah berubah 180 derajat dari arah semula, segera putar kemudi ke posisi center dan dipertahankan sampai kapal mencapai posisi semula.

b. Pengukuran

1. Main engine revolution / Turbo Charge Rev. / M/E Output
2. Haluan kapal dicatat setiap 10 detik
3. Kecepatan kapal dicatat setiap 10 detik
4. Jarak yang ditempuh dilihat dari radar.
5. Arah dan kecepatan angin saat mulai perintah.
6. Kedalaman laut dilihat dari echo sounder dan kondisi laut.
7. Temperature udara dan air laut.
8. Sudut kemudi.

9. ZIG - ZAG MANOEUVRE TEST.

a. Tujuan : Untuk mengetahui kemampuan olah gerak kapal.

b. Operasi.

Kapal melaju ke depan pada kondisi NSR kemudi diputar 10 derajat ke arah Starboard dan dipertahankan sampai haluan kapal berubah 10 derajat dari arah semula, kemudian segera putar kemudi 10 derajat arah portside, kemudian segera putar lagi kemudi 10 derajat ke arah starboard dan tahan sampai haluan kapal mencapai 10 derajat ke arah starboard, kemudian putar lagi kemudi 10 derajat ke arah portside dan tahan sampai haluan kapal kembali ke arah seperti dimulainya percobaan.

c. Pengukuran

1. Kecepatan dan arah angin
2. Kedalaman air
3. Kecepatan kapal dilihat dari speed log
4. Putaran Mesin
5. Sudut kemudi
6. Sudut putar haluan

10. ANCHOR LOWERING AND HOISTING TEST.

- a. Tujuan : Untuk mengetahui kinerja permesinan jangkar.
- b. Kondisi.

Kapal dibawa ke perairan yang relatif tenang, sebelum dimulai pengetesan kapal dihadapkan ke arah datangnya angin

- c. Operasi.

1. Kedua jangkar dikeluarkan sendiri-sendiri sampai di atas permukaan air dengan menggunakan control mesin windlass, kemudian ditahan dengan rem
2. Sebuah jangkar dijatuhkan bebas ke dalam air dan direm beberapa kali sesuai perintah (min. 3 segel rantai).
3. Jangkar diangkat dengan tenaga penuh sampai muncul ke permukaan air kemudian disimpan dalam hawse pipe.
4. Untuk jangkar yang satunya, prosesnya sama.

- d. Pengukuran

1. Waktu pelaksanaan pengetesan
2. Kedalaman air diukur dari peta dan echo sounder
3. Kecepatan mengangkat jangkar diukur pada setiap segel
4. Tekanan max. hydraulic oil
5. Tegangan dan kekuatan arus pada motor listrik

11. MINIMUM REVOLUTION TEST.

- a. Tujuan : Untuk mengetahui putaran mesin minimum.
- b. Operasi.

Untuk menentukan dead slow speed dari kapal, percobaan minimum revolution trial harus dilakukan. Dengan melaju ke depan pada keadaan minimum revolution, kira-kira RPM yang mana mesin tetap bisa berjalan, kapal dikemudikan sampai kondisi Dead slow, maka putaran mesin bisa ditentukan.

- c. Pengukuran.

~ Shaft Revolution Minimum

12. **CRANK SHAFT DEFLECTION**

Diukur pada kondisi Mesin masih hangat

13. **TORSIONAL VIBRATION**

14. **OVERHAUL 1 (ONE) CYLINDER**